



EDITORES Suzi Huff Theodoro
Marisa Bezerra de Mello Monte
Eder de Souza Martins

Anais do

IV CONGRESSO

BRASILEIRO DE

ROCHAGEM



REALIZAÇÃO

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral/Ministério de Minas e Energia – SGM/MME
Secretaria de Defesa Agropecuária/Ministério de Agricultura, Agropecuária e Abastecimento – SDA/MAPA
Secretaria de Empreendedorismo e Inovação/Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação – SEMPI/MCTI
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Cerrados e Embrapa Clima Temperado
Serviço Geológico do Brasil – CPRM/MME
Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI
Universidade Federal de Catalão - UFCAT
PPG Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural/Universidade de Brasília - PPGMADER/ UnB

PATROCÍNIO

Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovação
Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

APOIO

Serviço Geológico do Brasil – CPRM/MME
Universidade de Brasília – UnB
Universidade Federal de Catalão - UFCAT

EDITORES Suzi Huff Theodoro
Marisa Bezerra de Mello Monte
Eder de Souza Martins



Anais do

IV CONGRESSO

BRASILEIRO DE ROCHAGEM

autografia

Rio de Janeiro, 2021

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
(EDOC BRASIL, BELO HORIZONTE/MG)

C749a Congresso Brasileiro de Rochagem (4 : 2021)

Anais do [...] / IV Congresso Brasileiro de Rochagem, 08-10 novembro 2021; organizadores Suzi Huff Theodoro, Marisa Bezerra de Mello Monte, Éder de Souza Martins. – Rio de Janeiro, RJ: Autografia, 2021.

320 p. ; 25 cm

ISBN: 978-85-518-3267-7

1. Geologia – Brasil - Congressos. 2. Remineralizadores de solo. I. Theodoro, Suzi Huff. II. Monte, Marisa Bezerra de Mello. III. Martins, Éder de Souza.

CDD 620.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochagem

THEODORO, Suzi Huff (org.)

MONTE, Marisa B. Mello (org.)

MARTINS, Éder de Souza (org.)

ISBN: 978-85-518-3267-7

1ª edição, novembro de 2021.

Fotos da capa: Antônio Alexandre Bizão e Suzi Huff Theodoro

Revisão: Ana Prisce Teles Barreto, Clara Teles Barreto Brandão

Editora Autografia Edição e Comunicação Ltda.

Rua Mayrink Veiga, 6 – 10º andar, Centro

RIO DE JANEIRO, RJ – CEP: 20090-050

www.autografia.com.br

Todos os direitos reservados.

É proibida a reprodução deste livro com fins comerciais sem prévia autorização do autor e da Editora Autografia.

COMITÊ GESTOR

Enir Sebastião Mendes - Coordenação Geral

Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral do Ministério de Minas e Energia - SGM/MME

Tássia de Melo Arraes - Vice Coordenadora

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia, e Inovações - SEMPI/MCTI

Adilson Luís Bamberg

Empresa Brasileira de Agropecuária /
Embrapa Clima Temperado

Andréa Sander

Serviço Geológico Brasileiro -SGB/CPRM

Carlos Augusto Posser

Empresa Brasileira de Agropecuária -
Embrapa Clima Temperado.

Cristina Ferreira Correia Silva

Secretaria de Empreendedorismo e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações - SEMPI/MCTI

Éder de Souza Martins

Empresa Brasileira de Agropecuária - Embrapa Cerrados.

Elzivir Azevedo Guerra

Secretaria de empreendedorismo e Inovação do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações - SEMPI/MCTI.

Hideraldo Coelho

Departamento de Fiscalização de Insumos Agrícolas - MAPA

Magda Bergmann

Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Marisa Bezerra de Mello Monte

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI.

Paulo Afonso Romano

Serviço Geológico do Brasil – CPRM.

Rosane Martinazzo

Empresa Brasileira de Agropecuária /
Embrapa Clima Temperado

Suzi Huff Theodoro

Universidade de Brasília - UnB

COMITÊ EXECUTIVO

Antônio Nilson Zamuner Filho - Coordenação Executiva

Universidade Federal Catalão - UFCAT

Marília Gabriela Alencar de Morais - Vice Coordenadora

Universidade Federal de Catalão - UFCAT

COMITÊ TÉCNICO-CIENTÍFICO

Suzi Huff Theodoro - Coordenação Técnico-Científica

Universidade de Brasília

Adilson Luís Bamberg

Empresa Brasileira de Agropecuária/
Embrapa Clima Temperado

Alessandra Elisa Blaskowski

Serviço Geológico Brasileiro -SGB/CPRM

André Mundstok Xavier de Carvalho

Universidade Federal de Viçosa/UFV

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

Andréa Sander

Serviço Geológico Brasileiro -SGB/CPRM

Antônio Carlos Azevedo

Universidade de São Paulo - USP

Antônio Nilson Zamuner Filho

Universidade Federal Catalão - UFCAT

Carlos Augusto Posser Silveira

Empresa Brasileira de Agropecuária/
Embrapa Clima Temperado

Carolina Gomide

Universidade de Brasília - UnB

Claudete Gindri Ramos

Universidade de la Costa (Barranquilla/CO)

Cláudio Scliar

Pesquisador visitante UFMG

Edson Campanhola Bortoluzzi

Universidade de Passo Fundo

Éder de Souza Martins

Empresa Brasileira de Agropecuária/ Embrapa Cerrados

Flávio Costa

Universidade de Brasília- UnB

Irene Maria Cardoso

Universidade de Viçosa - UFV

Léo Afraneo Hartmann

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS

Marcus Manoel Fernandes

SEDE / DMIN-Diretoria de Mineração do Governo Estado MG

Magda Bergmann

Serviço Geológico Brasileiro -SGB/CPRM

Marco Antônio Marques Godoy

Universidade Nacional de Medellín/CO

Marisa Monte

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/MCTI

Othon Leonardos

Universidade de Brasília - UnB

Rosane Martinazzo

Empresa Brasileira de Agropecuária /
Embrapa Clima Temperado

Rosemary Hoff

Empresa Brasileira de Agropecuária/Embrapa Uva e Vinho

Tamiel Khan Baiocchi Jacobson

Universidade de Brasília - UnB

SUMÁRIO

NOTA DA COMISSÃO	10
RESSIGNIFICANDO A ROCHAGEM	15
Suzi Huff Theodoro	

TEMA 1: CARACTERIZAÇÃO E MÉTODOS

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO TOTAL DE K₂O, CaO E MgO EM REMINERALIZADORES DE SOLO	38
Yáskara Mariana Vargas Camilo, Alessandro Pio, Éder de Souza Martins, Luiz Sávio Medeiros Teixeira, Aline Pereira Moraes	
ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SUBMETIDOS AO USO DE REMINERALIZADOR SILICÁTICO	46
Helen Alves Lima, Daniele Oliveira Cunha, Erika Oliveira da Silva Farias, João Batista Pereira Lemes, Yuri Caires Ramos, Nielson Machado dos Santos	
INTERFERÊNCIAS NA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIONS EM SOLOS REMINERALIZADOS	54
Roseclênia Alves Santos, Renata Alcarde Sermarini, Antonio Carlos de Azevedo	
MAPEAMENTO DA DISSOLUÇÃO DE GRÃOS MINERAIS EM SOLOS POR ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)	63
Jean Braga, Antonio Carlos de Azevedo	
AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES APÓS APLICAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA EM SOLO ARENOSO	71
Olavo da Costa Leite, Gilberto Coutinho Machado Filho, João Victor Gonçalves Carline, Saulo de Oliveira Lima, Manoel Mota dos Santos	
DOSES DE PÓ DE SILTITO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO	76
Beatriz Motta Rodrigues, Roseclênia Alves Santos, Bruna Oliveira Ferreira, Antônio Carlos Azevedo	
DISSOLUÇÃO DE ALBITA APÓS SEIS ANOS DE APLICAÇÃO DE PÓ DE DIABÁSIO EM CAMPO	82
Jacqueline Kochan Lepchak, Marina Elias Cury, Rafael Cipriano da Silva, João José Cardinale Ieda, Antonio Carlos de Azevedo	

TEMA 2: REMINERALIZADORES E SEQUESTRO DE CO₂

ROCK DUST, CROP NUTRITION AND CLIMATE CHANGE	90
David Andrew Charles Manning	
O POTENCIAL DOS REMINERALIZADORES DE SOLOS E DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA AMPLIAR A CAPTURA DE CO₂	98
Gustavo José Soares, Suzi Huff Theodoro; André Mundstock X. de Carvalho	

TEMA 3: POTENCIALIDADES DE NOVOS PRODUTOS

AGROMINERAIS DO GRUPO SERRA GERAL NO RIO GRANDE DO SUL	108
Magda Bergmann, Andréa Sander, Carlos Augusto Posser Silveira	
AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL AGROMINERAL NO ESTADO DO TOCANTINS - BRASIL	116
Alessandra Elisa Blaskowski, Emanuela Reis Brod	
FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO, MAGNÉSIO E CÁLCIO ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE ESMERALDA DE MONTE SANTO (TO)	124
Emanuela Reis Brod, Alessandra Elisa Blaskowski	
INCUBAÇÃO DE BASALTO PRETO COLUNAR DE PARAÚNA E SUA UTILIZAÇÃO COMO FONTE DE AGROMINERAIS	133
Hélio de Souza Ferro Júnior	
POTENCIAL GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO NA PRODUÇÃO DE REMINERALIZADORES	142
Alcídio Pinheiro Ribeiro	
O POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS COMO FONTE DE INSUMOS AGRÍCOLAS, EM ANGOLA	149
António Olímpio Gonçalves, Suzi Huff Theodoro, Gustavo Rosa Almeida, Daniel da Purificação, Ricardo Reis, Eduardo Alves Morais	
AS ALCALINAS CANAMÃ COMO POTENCIAIS REMINERALIZADORES DE SOLO: PETROGRAFIA, DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X E GEOQUÍMICA	156
Henrique Rodrigues dos Santos, Ronaldo Pierosan, Naiade Caroline Barbieri	
PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS	163
Alessandra Mayumi Tokura Alovisi, Meriane Melissa Taques, Alves Alexandre Alovisi, Luciene Kazue Tokura, Elisângela Dupas, João Augusto Machado da Silva, Cleidimar João Cassol, Adama Gning	
NUTRIENT ELEMENT RELEASE FROM VOLCANIC SILICATE ROCKS: EXAMPLES FROM QUATERNARY BASALTS OF QUEENSLAND, AUSTRALIA	171
Peter Van Straaten	

CARACTERIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE MINERADORAS FRENTE ÀS ESPECIFICAÇÕES E REQUISITOS ESTABELECIDOS PARA REMINERALIZADORES DE SOLO	177
Marisa Bezerra de Mello Monte, Diego Macedo Veneu, Elayne Rohem Peçanha, Patrick dos Santos Alves ¹	

MINERALIZAÇÕES DE GRANADA NO POLO GEMOLÓGICO DE SÃO VALÉRIO DA NATIVIDADE (TO): FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO E MAGNÉSIO	186
Emanuela Reis Brod, Alessandra Elisa Blaskowski	

TEMA 4: ASSOCIAÇÃO COM MICRORGANISMOS

BIOSOLUBILIZAÇÃO DE ROCHAS E MINERAIS POR MICRORGANISMOS	196
Antonio Nilson Zamunér Filho, Nayane Cristina da Silva Araújo, Carlos Cordeiro Ribeiro, Alessandra Silva, Gisele Ramos, Henrique Torquato	
BIOGENIC ACID BASED TREATMENT FOR PHOSPHORUS MINERALS BY A.THIOOXIDANS FOR THE SOLUBILIZATION PROCESS.	205
Martha Natalia Echeverry, Marco Antonio Márquez, Darío de Jesús Gallego	
ESTRUTURA DE COMUNIDADES BACTERIANAS APÓS APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA NO SOLO	215
Betania Roqueto dos Reis, Antônio Carlos de Azevedo	

TEMA 5: EXPERIMENTAÇÃO AGRONÔMICA

THE AGRICULTURAL USAGE OF SILICATE ROCK DUST: POTENTIAL CO-BENEFITS	224
Philipp Swoboda, Martin Hamer, Thomas Döring	
EFEITOS DA APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR NA PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE ETANOL DE VARIEDADES DE BATATA-DOCE	232
Tatykelly Alves Borges, Fred Newton Silva Souza, Valéria Gomes Momenté, Linda Clara Fátima Silva	
POLVO DE BASALTO Y MICROORGANISMOS EN EL CULTIVO DE CAUPÍ, SU MICORRIZACIÓN ESPONTÁNEA Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO	240
Amalia María Eugenia Romero, Marcela Rosa Cossoli, María Cándida Iglesias	
UTILIZACION DE BIOINSUMOS EN EL CULTIVO DE PASPALUM ATRATUM CV. CAMBÁ FCA	248
Mariel Alejandra Krynski, Amalia María Eugenia Romero, Mario Hugo Urbani, María Cándida Iglesias	
DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CAPIM MOMBAÇA EM FUNÇÃO DO USO DE ADUBOS ALTERNATIVOS	255
Layanara Oliveira Faria, Ane Gabriele Vaz Souza, Pedro Henrique Nascimento Cintra, Westefann Santos Sousa, Thiago Souza Campos, Osmany Francisco Pereira de Melo, Adilson Pelá	

APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA (PRB) EM CULTIVO DE CANA DE ANO	263
César Martoreli da Silveira, Gabriel Vinicius Lima de Souza, Luigi Cicilini Benedini Moura, Renato Nery Malmegrim Junior, Pedro Henrique Batista dos Santos, Rian, Antonio Alexandre Bizão	
PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA SOJA ADUBADA COM PÓ DE BASALTO	271
Alessandra Mayumi Tokura Alovisi, Willian Lange Gomes, Alves Alexandre Alovisi, João Augusto Machado da Silva, Robervaldo Soares da Silva, Cleidimar João Cassol, Giuliano Reis Pereira Muglia, Laurilaine Azuaga Villalba, Milena Santo Palhano Soares, Mariana Manzato Tebar, Realdo Felix Cervi, Rodrigo Bastos Rodrigues, Adama Gning	
RESUMOS SIMPLES	279

NOTA DA COMISSÃO

Muitas coisas aconteceram neste quase um ano e meio de pandemia. O mundo mudou e as pessoas tiveram que se adequar aos novos tempos. Um novo padrão de relações sociais, profissionais e científicas precisou ser estabelecido. Se por um lado perdemos grande parte da mobilidade e das relações de trocas presenciais, por outro ganhamos com a difusão das novas formas de comunicação, utilizando as ferramentas digitais, que possibilitam os contatos e debates de forma muito mais ampla.

Também fomos forçados a repensar os processos que engendram o desenvolvimento das nações. No Brasil não foi diferente. Para além das restrições e das novas formas de convivência, ficou clara a necessidade de inserir as questões ambientais nos custos e nos benefícios dos negócios, como uma ferramenta de defesa das atividades produtivas. Esse é o caso da agricultura e da mineração.

Neste aspecto, a realização do IV Congresso Brasileiro de Rochagem (IV CBR) é de extrema pertinência e configura-se como uma urgência, pois representa um caminho promissor para o estabelecimento de novos paradigmas e de construção de vínculos entre esses dois setores produtivos. Nesse cenário, o uso dos remineralizadores de solo tem ganhado espaço nos estabelecimentos produtivos, nas ações dos governos estaduais e federal e na divulgação dos seus benefícios, por meio de diversos formatos de comunicação, entre os quais se citam uma infinidade de vídeos, debates interativos, *lives*, *podcasts* etc. Pode-se dizer que a rochagem transformou-se em um tema presente na ordem do dia, quer seja por conta dos resultados robustos sobre a eficácia dos pós de rocha, ou porque o setor produtivo vislumbra oportunidades e segurança na oferta de insumos disponíveis local ou regionalmente.

Para além de tais motivações, que por si só já demonstram a pertinência de realização do IV CBR, é primordial que divulguemos parte dos resultados das pesquisas desenvolvidas em diferentes instituições no Brasil e no exterior. São resultados expressivos que fortalecem a adesão do País a essa nova rota tecnológica, onde tem sido o maior protagonista.

Nessa conjuntura, é importante resgatar alguns fatos que vêm fortalecendo o uso dos remineralizadores de solos. Nas duas primeiras décadas do terceiro milênio, parte da sociedade global presenciou e participou de aceleradas transformações na forma de uso dos recursos naturais. As questões ambientais ganharam maior visibilidade e têm rivalizado, em importância, com as questões produtivas, sejam elas dos setores industrial, agropecuário ou mineral. Tais mudanças tornaram imprescindível o estabelecimento de novas normas legais, práticas ou rotas

tecnológicas, bem como de inovações científicas. O somatório dessas transformações também provocou mudanças na forma de produção de bens de consumo e de alimentos. Considerando tais necessidades, uma parte do setor produtivo tem buscado aumentar a segurança e o desenvolvimento socioambiental e econômico da população sem perder de vista a preservação da biodiversidade e da própria espécie humana. E, a pandemia, causada pelo coronavírus, mostrou que a urgência de implementação de uma nova ordem produtiva é mais do que necessária, é definidora do futuro da sociedade global.

Nesse contexto, o Brasil deve ocupar um lugar de vanguarda, porque possui um território de dimensão continental, que abriga 12% da água doce do planeta, uma imensa biodiversidade (assegurada em inúmeras unidades de conservação, terras indígenas e reservas legais), um setor produtivo robusto (que conta com recursos naturais distribuídos generosamente em todo território) e amplas possibilidades relacionadas à geração de energia (a partir de fontes renováveis como água, vento, sol, marés e plantas). Para além disso, somos um povo empreendedor e criativo, com grande capacidade de pesquisa e inovação. Tal cenário de fartura de recursos naturais e humanos, permite vislumbrar um lugar de destaque para o nosso País, uma vez que ele se sobressai como um dos maiores produtores dos setores agropecuário e mineral. Todavia, é importante ter em mente que essa riqueza requer responsabilidade intergeracional, desenvolvimento tecnológico e investimentos voltados para uma produção mais limpa.

Particularmente, quando se consideram os setores mineral e agrícola, fortemente dependentes da exploração dos recursos naturais, os cuidados com a preservação ambiental são determinantes para o sucesso das atividades desde o curto até o longo prazo. Nesse sentido, práticas e tecnologias que reduzam os impactos derivados dos processos produtivos configuram-se como mecanismos de sobrevivência e de adaptação às crescentes e justificadas restrições ambientais, econômicas ou de acesso a mercados e a insumos. E, apesar de serem correlatos, as produções mineral e agropecuária possuem dinâmicas distintas, cadeias produtivas totalmente separadas e apoio institucional diversificado e, muitas vezes, assimétrico. Porém, em um aspecto ambas se assemelham. Tanto em um quanto no outro as iniciativas e os empreendimentos são conduzidos, em sua maioria, pelo setor privado (seja ele de grande porte ou familiar), ainda que, em muitos casos, com o apoio governamental, via crédito.

Resguardadas suas diferenças e similaridades, a interação entre esses dois setores pode ser viabilizada por meio do aproveitamento de subprodutos e coprodutos da mineração, que em muitos casos já estão adequados ao uso como remineralizadores de solos. Esta rota de convergência tem sido possibilitada pela tecnologia da Rochagem, que prevê o uso de rochas moídas para manejo da fertilidade do solo, desde que atendam às normas legais estabelecidas. A viabilidade de uso dos remineralizadores, em alguns casos definidos como agrominerais, permite o desenvolvimento de uma bioeconomia que liga os setores da mineração e da agricultura, com benefícios para toda a sociedade.

Em 2013, por meio da edição da Lei nº 12.890, os remineralizadores de solo foram inseridos como uma categoria de insumo permitido para o uso agrícola, no âmbito da Lei nº 6.894/1980 (Lei dos Fertilizantes). Segundo a Lei 12.890, remineralizador de solo é o “*material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo*”. Posteriormente, em 2014, o Decreto nº 8.384 (que alterou o Decreto nº 4.954/2004) regulamentou o uso desses materiais e, em 2016, o Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) editou as Instruções Normativas 05 e 06, que estabeleceram as garantias mínimas para o seu uso e comercialização.

É importante destacar que todo o processo de criação do marco legal contou com a efetiva participação de um Grupo de Trabalho (GT) formado, em 2009, que tem tido a participação de representantes das seguintes Instituições: Ministério de Minas e Energia (MME), Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), Petrobras, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Agência Nacional de Mineração (ANM), Serviço Geológico Brasileiro (SGB/CPRM) e das Universidades de Brasília (UnB) e da Federal de Viçosa (UFV). Posteriormente, outras instituições foram sendo agregadas ao Grupo, como convidadas, ou para atender demandas específicas, dentre as quais se pode citar o Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), e a Universidade Federal de Goiás (UFCAT). Ainda que o GT dos Remineralizadores tenha uma composição essencialmente governamental, representantes dos setores mineral e agrícola têm sido constantemente consultados e ouvidos.

Entre os mecanismos de consulta e de tomada de decisão destacam-se a realização de encontros, seminários e congressos, que buscaram difundir e compartilhar o conhecimento e a troca de saberes acumulados ao longo desses últimos 20 anos. Nesse aspecto, tanto a edição da Lei dos remineralizadores quanto a realização de três edições passadas dos Congressos Brasileiro de Rochagem facilitaram a divulgação de resultados científicos de distintos grupos de pesquisa de natureza multidisciplinares (e também de agricultores experimentadores), em diversas condições e agroecossistemas, nas diferentes regiões e instituições brasileiras. O somatório de tais esforços (resultados científicos, repercussão dos vários eventos e formalização de grupos de pesquisa) fortaleceu o uso dos remineralizadores para uso agrícola e colocou o Brasil como protagonista de uma agricultura que busca a sustentabilidade (em todas as suas dimensões).

Porém, ainda existem vários desafios a serem vencidos, entre os quais se destaca a ampliação da oferta de remineralizadores para atender uma demanda crescente. Será necessário, portanto, aumentar o número de empresas que possuam registros e permissão de comercialização desse insumo em todas as regiões do País. Segundo dados do MAPA, presentemente já são cerca de 25 empresas que possuem o registro para comercialização de remineralizadores. A produção no ano de 2020 alcançou cerca de 1,1 milhões de toneladas.

Levantamentos junto aos grupos de agricultores têm mostrado que o uso desses materiais já alcança cerca de 4.000 mil agricultores brasileiros, o que representa em torno de três milhões de ha (ou em torno de 4 % da área agrícola do país). Este avanço é significativo, porque vem ocorrendo nos últimos cinco anos.

Um outro ponto de relevância, tem sido o aprimoramento e o desenvolvimento de metodologias (ensaios e análise) de caracterização das propriedades físicas, químicas e biogeoquímicas, da eficiência agrônômica, da identificação de teores limitantes de elementos potencialmente tóxicos (EPTs) e das relações que fortalecem o aprimoramento da atividade biológica do solo e do biointemperismo.

Apesar desses avanços, outras ações precisam ser empreendidas para fortalecer essa rota tecnológica, entre as quais se destaca o estabelecimento de uma Política Nacional dos Remineralizadores (PNREM), que incentive o uso e a comercialização desses insumos tão fartamente disponíveis em várias partes do país. Além disso, é fundamental que seja ampliado o apoio às novas pesquisas científicas, que tratem de misturas (*blends*) de rochas com microrganismos, em especial nos aspectos relacionados à produtividade e à captura e armazenamento de CO₂ atmosférico. O sequestro e o armazenamento de CO₂ no solo a partir do uso de rochas silicáticas moídas têm reforçado a importância do uso dos remineralizadores, porque eleva os resultados para além do estritamente produtivo. Existe um campo imenso para conhecer, pesquisar e avançar.

Portanto, muitos avanços, e desafios ainda maiores, sinalizam para a importância da realização do IV Congresso Brasileiro de Rochagem, que havia sido previsto para ocorrer de forma presencial em junho de 2020, na cidade de Catalão/Goiás, mas que em função da pandemia teve que ser adiado por duas vezes. Com as ainda presentes restrições de encontros presenciais e o desenvolvimento de ferramentas que permitem a realização de reuniões virtuais, optou-se pela realização do encontro no formato *online*.

Manteve-se os mesmos objetivos estabelecidos inicialmente, quais sejam: (i) apresentar e divulgar os avanços técnico-científicos relacionados à metodologia de caracterização das rochas aptas para tal uso e de sua eficiência agrônômica; (ii) avaliar e discutir os avanços obtidos ao longo dos últimos 10 anos; (iii) incentivar a formação de redes de pesquisadores envolvidos com o tema da rochagem; (iv) facilitar a formalização de iniciativas que possibilitem a criação de Arranjos Produtivos Locais envolvendo a mineração e a agropecuária; (v) consolidar o potencial do uso de pós de rocha como mecanismo de remineralização/rejuvenescimento de solos degradados; (vi) discutir a proposta de criação de uma Política Nacional de Remineralização de solos; (vii) estabelecer estratégias de ampliação dos registros para comercialização e uso de remineralizadores como fonte de nutrientes e (iii) publicar os anais do Congresso contendo os trabalhos científicos relacionados à Rochagem.

Considerando esses objetivos, ao longo do processo de organização do IV CBR, o Comitê Técnico-Científico avaliou 68 trabalhos, enviados por diferentes grupos de pesquisa (de diversas instituições), que retratam o andamento e os resultados das investigações e experimentos em desenvolvimento no Brasil e até no exterior. Inicialmente foram enviados os resumos simples. A partir da avaliação efetuada pelo grupo de pareceristas, que compõe o Comitê, foram selecionados 30 trabalhos, parte deles com apresentação oral (ainda que virtual) durante o Evento. Esses resumos foram, então, indicados para serem ampliados na forma de resumos expandidos, de forma que se permita conhecer, em maior detalhe, os dados e os resultados das pesquisas. Estes trabalhos são apresentados no presente volume dos Anais do IV Congresso Brasileiro de Rochagem. Ao final foram acrescentados os resumos simples que foram apresentados na sessão de pôsteres.

Boa leitura!

RESSIGNIFICANDO A ROCHAGEM

SUZI HUFF THEODORO

Programa de pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural/ Universidade de Brasília (PPG-MADER/ UnB). E-mail: suzitheodoro@unb.br

Resumo: As reflexões sobre o tema da rochagem, aqui apresentadas, são expostas na forma de um ensaio científico. Baseiam-se nas reflexões da autora, mas, também, estão apoiadas em estudos e pesquisas empreendidos por vários grupos de cientistas e investigadores formais ou empíricos, que têm se dedicado ao desenvolvimento e à ampliação do conhecimento acerca dessa opção tecnológica. Essa reflexão está dividida em duas partes. Primeiramente, empreendeu-se uma revisita às teorias e aos princípios básicos que sustentaram, ao longo de mais de um século, que o acréscimo de determinados tipos de rochas moídas ao solo tem o poder de alterar os seus níveis de fertilidade. Na segunda parte, examina e discute a evolução desses pressupostos que tem apresentado a rochagem como uma “salvação” da agricultura tropical, ou mesmo, uma sobrevida ao sistema de produção convencional. Esse resgate e discussão do tema não visam a obtenção de consensos, mas de questionamentos. Estamos frente à possíveis mudanças dos paradigmas da forma de uso e ocupação das terras e dos territórios. Ainda que a produção de alimentos continue sendo uma variável determinante, tornou-se necessário, por conta da evolução do conhecimento, agregar e combinar outros elementos relacionados aos efeitos causados ao meio ambiente, à qualidade nutricional dos produtos e à soberania dos povos. Nesse tabuleiro de variáveis, será preciso ressignificar a importância de cada elemento, na constituição de um futuro que garanta a sustentação da vida.

I. Rochas: as guardiãs da história de formação do planeta

As rochas são mães dos solos e filhas do ventre da terra.

Elas podem ser geradas por uma convergência de condicionantes que, dependendo de pressões e temperaturas, resultam de fusões autofágicas - em câmaras magmáticas liquefeitas - para conceber novas formas, composições e morfologias tão distintas quanto a natureza de suas feições. Podem, igualmente, ser forjadas a partir do desgaste e do reagrupamento de suas ancestrais, formando novos arranjos e reconcentrando afinidades físicas, químicas e/ou

biológicas. Elas têm, também, a capacidade de refundir-se e, a partir de colisões, choques e soterramentos, assumir formas planares, laminares, bandadas e/ou granulares, mas, ainda assim, guardando a memória de suas antecessoras (protólitos). Em sua diversidade e resistência, as rochas, por vezes, são atacadas por fluidos devastadoramente efervescentes, quase sempre aquosos, que as transformam, reconcentrando ou criando verdadeiros tesouros (depósitos minerais) com os mais variados tipos de beleza, valor e formas.

Com essa incrível variedade e gênese, as rochas são as maiores guardiãs da história da formação deste nosso incrível planeta Terra. Por suas origens, processos e segredos, elas despertam encantamento, curiosidade, cobiça e ambição. Mas, a poucos é dado lê-las, entendê-las e decifrar seus segredos.

Geologia é o nome da ciência que busca compreender a história, a idade, as formas e os processos de conformação das rochas. Os primeiros registros estão vinculados à observação de fósseis (história natural), mas há recorrentes registros históricos mostrando que a observação ou a descrição das rochas acompanhou o processo civilizatório. Dominar, apropriar-se ou manejar a natureza é intrínseco e definidor do processo de evolução humana. Essa prática fica clara quando se analisa as denominações (marcos) dadas a alguns períodos civilizatórios. No início, ainda sem muito conhecimento, os nômades precisaram aprender a usar lascas de pedras (idade da pedra lascada) para se defender de predadores ou para obter alimentos. Depois vieram as idades do cobre, do bronze e do ferro. A evolução no uso das rochas foi tanta que, atualmente, a sociedade urbano-industrial usa uma variedade enorme de substâncias minerais, em especial o petróleo, a água e, mais recentemente, os metais denominados terras raras estão entre os mais estratégicos. Importante, também, mencionar o solo como um recurso estratégico, uma vez que ele perpassa todos esses períodos e sustentou as grandes transformações.

É correto supor que dominando e apoderando-se dos segredos contidos nas rochas, os seres humanos deixaram de ser nômades, para desenvolver técnicas de produção que possibilitaram a permanência, por períodos mais longos, em locais de maior fartura, mais aprazíveis e seguros. Essa transformação, no entanto, interrompeu a inquietude da busca permanente e os tornou posseiros de territórios. Criaram raízes. De caçadores e coletores, os humanos viram-se forçados a converterem-se em semeadores.

Novas ferramentas e necessidades foram se sucedendo, ao mesmo tempo em que o aumento da população foi exigindo mais produção. Porém, a nutrição natural dos solos para as plantas, também domesticadas, já não era mais tão abundante. Tornou-se necessário recompor as fontes de nutrientes para garantir produções agrícolas maiores, mas, sempre insuficientes. A diversidade e a fartura foram ficando escassas.

Esse cenário exigiu que outro passo civilizatório fosse dado. Os homens, baseados em observações, crescentemente mais apartadas da diversidade natural dos sistemas por eles habitados,

perceberam que a oferta de quantidades calibradas de determinadas substâncias (derivadas de algumas rochas) poderia prover suas necessidades, garantindo o sustento da sociedade. Assim, a demanda crescente, aliada à ânsia de dominação dos meios de produção, definiu novas rotas que apoiaram e sustentaram o entendimento de que uma oferta restrita e concentrada de determinados nutrientes garantiria o suprimento das necessidades.

Mas havia quem falasse que os alimentos deveriam resultar de uma oferta nutricional diversificada (multielementar). Sintetizando tal entendimento, a expressão “pães de pedra” foi utilizada de forma figurada por Julius Hensel, no final do século XIX, para expressar a teoria baseada no emprego de farinhas (pós) de rochas como forma de ampliar a fertilidade dos solos e diversificar a oferta de nutrientes para as plantas. Metaforicamente, essa proposta sugeria que para forjar o trigo (e o pão) era necessário conhecer os desejos da terra e fecundar o chão (o solo), parodiando o poeta. Isto porque, já se sabia que as rochas liberam, gradativamente, parte de seus constituintes (nutrientes), como Si, Ca, Mg, Fe, K, Li, S, P, Mo, B, V, Zn, Cu, Co e muitos outros, pelo desgaste natural ou pelo contato com ácidos fracos (água, por exemplo). Portanto, ao moer rochas (cominuir) está se favorecendo o aumento da superfície reativa de seus minerais, o que tende a ampliar a solubilidade de seus compostos químicos, devido ao ataque de ácidos presentes na zona de interação entre raízes, microrganismos e bactérias (rizosfera). Segundo as propostas de Hensel, quando esses materiais são adicionados a solos pouco férteis ou lixiviados eles são capazes de recompor a fertilidade perdida.

No entanto, esse entendimento foi derrotado e desprezado em função de interesses econômicos, que permitiram a acessão das teorias de Justus von Liebig (que propôs o uso apenas dos nutrientes que eram essenciais às plantas) e se tornaram hegemônicas. Entre outras razões, essa proposta encontrou maior adesão porque alimentava a promessa de acabar com a fome no mundo, que condena, até hoje, vastas porções da população mundial, mesmo diante do grande excedente de alimentos produzidos.

Ao longo de pouco mais de meio século, o que se viu foi que, apesar do sucesso e dos crescentes recordes de safras, a fome não foi exterminada, ao contrário, continuou avançando sobre uma população desprovida dos recursos necessários à sua própria segurança alimentar. A despeito dessa promessa não cumprida, o modelo evoluiu, transformou-se e utilizou-se de novas ferramentas. Porém, o preço tem sido cada dia mais alto (literalmente), seja pela escassez, seja pelo controle da produção em poder de poucos países (MANNING; THEODORO, 2018). A especialização, ou a particularização da oferta nutricional, priva as plantas da necessária diversidade multielementar (PRIMAVESSI, 1988). Uma dieta nutricional restrita a poucos elementos resulta na uniformização e predomínio de poucas variedades de plantas, denominadas commodities (mercadorias), e não mais alimentos.

Nessa nova forma de entender a produção, já não importa tanto compreender que os solos, filhos das rochas, têm suas particularidades, aptidões e disponibilidades, tal qual suas ancestrais.

A submissão do solo a propósitos imediatistas, deu oportunidade ao desenvolvimento da agricultura de precisão (MELGAREJO, 2013), que se distanciou dos processos naturais e selou a quebra da unidade e das conexões entre as rochas e os solos.

Com essa ruptura, os filhos, tão generosamente gerados, são vistos como substratos passíveis de serem transformados, domesticados e usados à exaustão. Deixou-se de perceber que os solos sustentam sistemas complexos e dinâmicos (ou sintrópicos, segundo Götsch, 1997), que nutrem as plantas, por meio da interação da rizosfera com os fluidos circundantes (compostos biogeoquímicos) e suas progenitoras. Essa sintonia permite e assegura o equilíbrio e as afinidades da imensa diversidade de outras espécies de vegetais, de animais e de microrganismos que, juntos, representam o grande patrimônio genético do planeta.

Ressignificar os solos (CARDOSO; FÁVERO, 2018) é uma ação emergencial para garantir o futuro da civilização. Eles, que representam uma das mais delgadas esferas do planeta (a pedosfera), têm a grande responsabilidade de sustentar a vida da imensa maioria dos seres vivos (biosfera). Diante dessa importância, é necessário resgatar o entendimento de que os solos (nas suas mais diversas formas, texturas e composições) são resultantes do desgaste de suas progenitoras - as rochas. Para gerá-los, elas que são quase sempre tão resistentes, deixam-se fragilizar, quebrar-se e dissolver-se mediante o ataque do abstrato clima, que as transforma e as fecunda, para gerar novos solos tão diversos quanto elas próprias. O clima, esse componente impiedoso, mas sensível, frequentemente associa-se a um verdadeiro exército de plantas, fungos e bactérias, para seguir na desconstrução (ou reconstrução) da vida.

Nessa perspectiva, o abstrato clima, que se manifesta de diversas formas, busca intervir, controlar e subtrair (lixiviar, solubilizar) o que o ventre da terra (litosfera) gerou, moldando e recriando os solos. De outro lado, esse mecanismo pode ser compreendido não na forma de competição, mas como um processo sistêmico, que gera e controla a vida na superfície da Terra, e que está conectado por meio de um metabolismo sinérgico que comanda o sistema como um todo (todas as esferas), e que regula a temperatura e as características químicas e biológicas presentes em diferentes ecossistemas e organismos.

A ausência de um entendimento mais profundo acerca desse eterno e silencioso duelo (ou interdependência sistêmica) indica uma necessidade de retroceder para observar esse imutável processo de formação, de desgaste e de rearranjo permanente entre as rochas, os solos, o clima e os microrganismos, ou entre as esferas que compõe o que Lovelock e Margulius (1974) chamaram de Gaia. Para esses autores, a biosfera e os componentes físicos da Terra estão intimamente integrados, de modo a formar um complexo sistema que mantém as condições climáticas e biogeoquímicas em equilíbrio. Para Vernadsky - um geoquímico que combinou a mineralogia, a geologia e a biologia -, é da natureza da vida interagir para integrar incessantemente seus componentes, rejeitando ou selecionando fontes de energia, a fim de manter a integridade física.

Ainda que se entenda que, conforme os autores, todos os elementos do sistema Terra estejam conectados e interdependentes, cabe aqui um olhar mais detalhado nos solos e em particular nos solos tropicais - que por muito tempo foram considerados pobres do ponto de vista nutricional. É importante ter em mente que, em grande parte, eles resultam de uma grande diversidade de rochas (jovens e antigas), em regiões geologicamente estáveis e com um regime de chuvas e insolações intensas. Essas condicionantes influenciam na velocidade da hidrólise e da lixiviação dos produtos solubilizados a partir das rochas. Apesar dos processos serem vigorosos e devastadores, é interessante observar que esses solos, considerados pobres, sustentam exuberantes florestas tropicais e uma imensa biodiversidade.

Primavesi (1988) lembra que uma das grandes desvantagens dos solos tropicais sempre esteve ligada à presença de argilas cauliníticas (de estrutura 1:1), que possuem reduzida capacidade de trocar cátions, como potássio, cálcio, magnésio, os quais formam o principal lastro de fertilidade. Em compensação, ela adverte, os solos tropicais são bastante profundos e, geralmente, muito melhor granulados que os solos de regiões temperadas. Tais características (grumosidade e boa agregação) resultam em maior porosidade, melhor arejamento e capacidade de armazenar água, o que facilita o enraizamento das plantas. Nessa mesma linha, Churchman, et al (2020) também mencionam que os microagregados configuram-se como uma base importante da estrutura dos solos, estabilizando-os contra perturbações desencadeadas por práticas agrícolas inadequadas ou pela erosão.

Conforme alerta Primavesi (op. cit), essas estruturas de agregados podem se juntar em grumos, devido a ação de ácidos húmicos ou poliurônicos, que os cimentam, por vias biológicas, e os tornam bastante estáveis. Além disso, esses agregados possuem maior teor em carbono, o qual está diretamente vinculado a atividade biológica. Portanto, ao se acrescentar ou não retirar a matéria orgânica disposta na superfície está se favorecendo a sua bioestruturação.

A partir de tais pressupostos, Primavesi (op cit.) sugere que o perfil mais profundo e a bioestruturação (agregados) dos solos tropicais compensa a sua carência nutricional. Para ela, as raízes das plantas exploram um volume maior de solos novos, em busca de nutrientes e água, expandindo-se livremente. E melhor enraizamento, quase sempre, significa plantas melhor nutridas e mais exuberantes.

É relevante ter em mente que o padrão desfavorável acerca do potencial dos solos tropicais foi estabelecido a partir do entendimento de que um perfil adequado seria semelhante àquele que é encontrado em regiões temperadas, onde o modelo de produção foi inicialmente estabelecido. E foi essa concepção que sustentou as teorias e práticas construídas pelo que se convencionou chamar de modelo convencional de produção, adotado a partir da revolução verde.

Mas as regiões tropicais, por uma infinidade de restrições e necessidades, têm sido inovadoras e buscam melhores práticas a custo menores. E contrariando uma lógica estritamente econômica,

alguns adeptos desse modelo produtivo vem buscando aprimorar (ou resgatar) práticas de manejo mais conservacionistas. Porém, ainda que o uso de novas práticas de manejo e insumos representem uma sobrevida para a agricultura convencional desenvolvida nas regiões tropicais, é necessário avançar mais no entendimento da intrincada inter-relação e interdependência dos sistemas solo-planta-microrganismos, conforme havia sido proposto por Hansel, há mais de 100 anos. Para ele, solos velhos, por vezes, só precisavam ser rejuvenescidos.

Mais recentemente, grupos de cientistas, que se auto intitulam agrogeocientistas¹, defendem o resgate de antigas práticas que induziam a remineralização dos solos, a partir do uso de materiais derivados das rochas, como forma de devolver, ao menos em parte, suas condições pretéritas e, assim, torná-los mais férteis, diversos e vivos.

A esse processo deu-se o nome de rochagem.

II. Rochagem: um contraponto à visão utilitarista do solo

Para alguns, a rochagem é uma tecnologia ou prática agrícola, para outros, uma alternativa de manejo do solo. É provável que seja uma alternativa tecnológica, que tem como prática o acréscimo de determinados tipos de rochas moídas (ou farinhas de rocha) ao solo, como forma de manejar a sua fertilidade. O uso desses materiais possibilita a sua remineralização e rejuvenescimento que, por seu turno, implica no aumento dos níveis de fertilidade (LEONARDOS, et al, 1976). Ela pode ser entendida como um “intemperismo reverso”. No lugar do desgaste, da perda e da lixiviação, favorece-se o aporte dos nutrientes perdidos por processos naturais ou pelo mau uso dos solos (KELLER, 1948). A história da agricultura relata que os povos andinos originários e os egípcios (do delta do rio Nilo) já praticavam essa forma de fertilização, ainda que de forma empírica (VEIGA, 1991).

Fyfe e Leonardos (1978) mencionam que, antes de Julius Hansel, James Hutton, no século XVIII, não só recomendava, como utilizava rochas disponíveis regionalmente para que a fertilidade do solo fosse aumentada. O entendimento desse “intemperismo reverso” também chamou atenção de outros cientistas, ao longo da primeira parte do século XX, entre os quais Graham, em 1941, Keller em 1948, entre outros que defendiam a ideia de que vários tipos de rochas comportam-se como fontes de potássio, cálcio, magnésio, fósforo, enxofre e uma grande variedade de micronutrientes. Desde então, experimentos têm sido conduzidos em várias partes do mundo (D’HOTMAN DE VILLEIERS, 1961; THEODORO, 2000; CARVALHO, 2012; BASAK et al, 2020 entre outros), com finalidades de averiguar e comparar as respostas da adição de pós de rocha aos

1. A agrogeologia, segundo Chesworth(1993), estuda processos geológicos que influenciam a distribuição e formação dos solos, bem como a aplicação de materiais geológicos em sistemas agrícolas e florestais, como forma de manter e melhorar a produtividade do solo, a sustentabilidade da agricultura, a segurança e qualidade alimentar.

solos. Dito de outra forma, busca-se investigar em que medida a prática da rochagem favorece a oferta de multinutrientes para o solo, e na sequência, para as plantas.

No Brasil, os trabalhos pioneiros foram feitos nos anos de 1950 (ILCHENKO, 1955 e GUIMARÃES, 1955). Nos anos de 1970, Leonardos et. al. (1976), Fyfe e Leonardos (1978) e Kronberg, Fyfe e Leonardos (1987) continuaram defendendo a teoria de que o acréscimo de determinados tipos de rochas ricas em nutrientes devolveria a fertilidade aos solos, em especial, aqueles formados em regiões tropicais. Ainda no Brasil, pesquisas de caráter mais empíricos (Bernardo Knapik, Adoniel Amparo, Solon Barreto), utilizando diferentes tipos de rochas moídas (basaltos, serpentinitos e xistos), seguiam os pressupostos de Hansel. Esse grupo se recusava a aderir as narrativas construídas externamente e que legitimaram a adoção do modelo de produção estabelecido a partir de pressupostos que não consideravam a realidade dos agroecossistemas tropicais.

Mas havia aqueles que desenvolviam pesquisas e não encontravam resultados positivos (BOLLAND; BAKER, 2000; ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998). Manning (2013) destaca que uma série de experimentos não apresentou resultados positivos ou foram contraditórios, em função da falta de conhecimento das características originais do solo, dos tipos de nutriente presentes nos materiais utilizados e do estágio de alteração e/ou estado físico (estrutura cristalina) dos componentes mineralógicos, que têm o poder de definir a velocidade de solubilização dos minerais primários ou secundários. Carvalho (2012) acrescenta que outros motivos referem-se à inadequação dos tempos de análise dos experimentos, entre outras causas e interesses. Neste aspecto, deve-se ter em mente que toda pesquisa se dá em um contexto cultural e, quase sempre, ideológico (ditados por interesses particulares ou coletivos). Portanto, hipóteses, premissas e métodos representam escolhas.

No embate de escolhas e de modelos, os pressupostos de Liebig foram largamente vencedores e conseguiram se espalhar para diversas regiões do planeta (ROCHA, 2006). Ainda que suas teorias tenham sido pensadas para países temperados (com outros tipos de solo, manejo e plantas), elas foram sendo ajustadas e ganharam reforços tecnológicos, com centenas de novos tipos de máquinas, sementes adaptadas à diferentes regiões e inúmeros controladores de “inimigos naturais” (plantas nativas ou oportunistas). Esse conjunto de possibilidades permitiu o aumento do uso de insumos e compostos sintéticos, crescentemente mais impactantes aos tais inimigos naturais (CAPORAL, 2016) e, indiretamente, a toda cadeia que regula as demais esferas que compõem o planeta.

Em que pese o sucesso econômico-produtivo desse modelo, a percepção dos problemas e das consequências de médio e de longo prazo, derivadas dessa forma de produção, facilitaram, em anos mais recentes, o resgate da rochagem como uma alternativa menos impactante para viabilizar a recomposição da fertilidade dos solos. Mas é relevante considerar que foi

necessário mais de meio século de muita persistência e pesquisa para que o entendimento da intrincada relação entre as rochas, os solos e, mais recentemente, os microrganismos, tivesse a oportunidade de ser restaurada. Provavelmente, este resgate esteja ligado ao fato de que a rochagem centra-se na busca do equilíbrio da fertilidade, na conservação dos recursos naturais e em uma produtividade mais sustentável, em outras dimensões que não somente a econômica (THEODORO, 2000).

Não obstante esta busca por insumos menos impactantes apresente diversos resultados positivos, está claro que outros interesses, em especial econômicos, estão vinculados ao recente espraiamento do uso da tecnologia como um novo insumo (MIBISSIK et al. 2021). A busca por fontes disponíveis, local ou regionalmente, que sejam mais baratas e que potencializem a obtenção de produtos de melhor qualidade nutricional (RAMOS et al., 2021; BASAK, 2018), a captura de CO₂ atmosférico (BEERLING, et al., 2020; KELEMEN et al. 2020; KELLAND et al, 2020) ou a recuperação de áreas degradadas (THEODORO et al., 2020) têm facilitado a adoção da rochagem como alternativa tecnológica para fertilização dos solos.

No Brasil, esse conjunto de fatores, somado ao perfil produtivo dos agricultores e à imensa geodiversidade do País, tem permitido que a rochagem esteja se tornando uma alternativa tecnológica interessante, especialmente, porque grande parte das terras agriculturáveis do Brasil são compostas por solos altamente intemperizados, que por sua natureza tem oferta de nutrientes mais reduzida.

Ainda que se compreenda que o conceito relacionado à pobreza nutricional tenha sido construído em outras bases produtivas, deve-se ter em mente que a riqueza é um conceito relativo (a qual se manifesta também nos solos). Mas o fato importante é que, nessa perspectiva, revitalizar (ou remineralizar) vastas porções territoriais tende a ampliar e favorecer a reprodução da vida. O ciclo dos compostos minerais no solo é um processo dinâmico, que envolve a sua transformação por processos biogeoquímicos e físicos (FYFE 1989).

O uso de pós de rocha (no Brasil denominados remineralizadores de solo), conforme os pressupostos da tecnologia da rochagem, tem sido rapidamente difundido e incorporado em meio aos agricultores. Importa resgatar que para muitos autores, especialmente Leonardos et al. (1976 e 1987), Theodoro (2000) e Carvalho (2012), a rochagem é um mecanismo que fortalece e favorece a remineralização dos solos. Os compostos químicos, derivados dos minerais formadores das rochas, são capazes de fornecer macro e micronutrientes, que facilitam a alteração dos indicadores de fertilidade dos solos (LEONARDOS *et. al.*, 1987; WEERASURIYA et al., 1993; HINSINGER, 1998). Portanto, pode ser considerada como um mecanismo de rejuvenescimento dos solos (THEODORO; LEONARDOS, 2006). Pode, também, ser entendida como uma espécie de banco de nutrientes, que possui solubilidade mais lenta do que os insumos convencionais, mas que oferece os nutrientes na medida da necessidade das plantas, durante

períodos mais longos (LEONARDOS et al, 2000, van STRAATEN, 2009; THEODORO et al., 2013), sendo, por isso, mais resilientes.

A associação com determinados microrganismos solubilizadores de compostos químicos ou a adição de matéria orgânica amplia a oferta (solubilização) de nutrientes de determinados minerais (CARVALHO, 2012; TAVARES et al., 2018; BASAK et al, 2018). Além disso, essas associações favorecem a oferta de nitrogênio e carbono, que são igualmente importantes para melhorar as características bioquímicas e físicas dos solos.

Nessa linha de pesquisa, Bazak et al. (2018) observaram que as moléculas orgânicas capazes de solubilizar compostos minerais podem ser produzidas por microrganismos, incluindo as bactérias, fungos de vida livre e fungos micorrízicos, que estão presentes nos solos, em especial, na rizosfera. Baseados em outras pesquisas, esses autores sugerem que os microrganismos podem originar uma espécie de biofilme, que tende a criar um microambiente congênito para a dissolução da rocha, uma vez que as moléculas orgânicas secretadas por plantas ou microrganismos formam complexos metal-orgânicos, que promovem a dissolução dos minerais presentes nos pós de rocha.

Alguns tipos de argilominerais, derivados da alteração de minerais primários, em especial as esmectitas, podem, quando em contato com microrganismos, ampliar a taxa de liberação de nutrientes derivados dos minerais formadores das rochas (ZHANG et al., 2020; MANNING et al., 2013). Pesquisa de Kelland et al. (2020) evidenciaram que os minerais (cristais) formadores de rochas basálticas, em especial de diopsídio e de olivinas, tiveram suas superfícies colonizadas por fungos micorrízicos e aceleraram as taxas de dissolução físicas e químicas dos grãos, quando comparadas às formas lisas e angulares do material original. Resultados semelhantes foram verificados por Arcand e Schneider (2006), para rochas fosfáticas (cristais de apatitas) associadas às atividades de microrganismos.

Harley e Gilkes (2000), no entanto, alertam que é vital que se compreenda as relações entre as taxas de liberação de nutrientes minerais e a absorção pelas plantas, como forma de comprovar a eficácia das rochas moídas como fertilizantes. Eles sugerem que a taxa de dissolução ocorrerá, preferencialmente, nos “defeitos” das superfícies dos minerais, em seus diferentes estágios de alteração da estrutura cristalina

Presentemente, um dos grandes desafios do uso dos remineralizadores está relacionado à ampliação da oferta de macronutrientes primários, em especial potássio (K) e fósforo (P). Ainda que exista uma expressiva quantidade e variedade de rochas que se apresentam como possíveis fontes desses nutrientes, a dinâmica de liberação dos compostos de K e P ainda precisa ser melhor entendida, para favorecer ou retardar essas reações. Muitos estudos (WEERASURIYA et al, 1996; BARD, 2006; MANNING, 2010; MBISSIK, et al., 2021; SANTOS, et al., 2021) têm mostrado resultados expressivos de liberação do potássio, a partir de minerais como leucita,

biotita, muscovita, K-feldspatos. Pesquisas de Setiawati e Mutmainnah (2016) destacam que a associação dos minerais portadores de potássio com distintas cepas de microrganismos é capaz de solubilizar parte do potássio, em poucos dias, especialmente, se os minerais apresentarem algum grau de alteração ou “defeitos” em suas redes cristalinas. Mencionam, também, que a solubilização do K pode variar de acordo com a natureza e composição dos minerais, sua estrutura cristalina, o grau de alteração e a gênese, mas que a presença de ácidos orgânicos, secretados pelas raízes das plantas e pelos microrganismos, favorece o aumento da solubilidade do potássio. Resultados semelhantes foram obtidos em outras pesquisas (YANG, et al., 2020; SOUZA, et al, 2019; CARVALHO, 2012; BADR, 2006).

Outro aspecto importante refere-se ao efeito residual promovido por alguns tipos de rochas, em especial, quando misturadas com materiais orgânicos. Tavares et al. (2018) mostraram que o uso de rocha potássica (fonolito) associado com composto orgânico (maturado ou não) foi capaz de reduzir as perdas dos cátions de K pelo processo de lixiviação, além de permitir sua liberação de forma mais lenta. Os autores destacam que essa habilidade pode ter sido ampliada devido ao aumento da capacidade de troca catiônica (CTC), após a aplicação da mistura organomineral, que permitiu a ampliação dos mecanismos de exsudação de ácidos orgânicos.

No que se refere ao fósforo (P), Hinsinger (2001) menciona que este nutriente é, provavelmente, o menos móvel e disponível para plantas, na maioria dos solos, o que se converte em um fator importante, ou mesmo, o principal limitante para o crescimento das plantas. A sua forma disponível para as plantas ocorre na solução do solo, como ânions ortofosfato, predominantemente $H_2PO_4^-$ e HPO_4^{2-} , que podem ser fortemente adsorvidos ao solo ou participar de reações de precipitação. Hinsinger e Gilkes (1997) estudaram a dissolução da rocha fosfática, na presença e ausência de plantas cultivadas em um substrato que simula um solo ácido fixador de fósforo (sem fonte de P e Ca). Eles concluíram que na ausência de plantas, o baixo pH do substrato resultou na dissolução de cerca de 8 e 30% da rocha fosfática, a depender da dosagem aplicada ao substrato. Mas destacam que na presença de plantas (azevem e colza), a dissolução foi maior na zona das raízes. Esse efeito resultou em uma diminuição significativa no conteúdo de Ca^{+2} total e um acúmulo, concomitante, de P dissolvido na rizosfera. Os autores sugerem que a redução na oferta de cálcio pode ter promovido a dissolução da rocha fosfática, e concluíram que um solo ácido, com a presença de plantas, pode mobilizar o P, em especial na rizosfera, quando combinado com cálcio. O aumento do pH resultou na liberação do fósforo retido nas bordas (ou entre camadas) da estrutura cristalina das argilas 1:1 (THEODORO et al., 2015). Essa dinâmica é especialmente importante para os solos tropicais, onde o fósforo pode estar retido (imóvel) na estrutura de argilas caoliníticas, conforme mostrado por Santos et al. (2021).

Porém, deve-se ter em conta que o uso de P solúvel pode representar uma série de riscos, conforme advertiu Fyfe (1989), ambientais e à saúde. Esse autor lembra que a fonte solúvel de fósforo deriva, essencialmente, de rochas formadas em ambiente marinho, que possuem a

habilidade de sequestrar grandes concentrações de elementos como cádmio, urânio e chumbo. Nesse aspecto, o uso de fertilizantes fosfatados pode levar a um acúmulo excessivo de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPTs), como o cádmio. Essa deve ser uma preocupação em regiões de agricultura intensiva.

Diretamente relacionado às fontes de fósforo, outro ponto importante diz respeito à necessária presença de silício (Si) no solo, para o pleno desenvolvimento de grande parte das plantas (em especial trigo, arroz e cana-de-açúcar). Importante mencionar que fontes desse nutriente estão disponíveis na quase totalidade dos minerais formadores das rochas silicáticas. Embora o modelo convencional considere o Si como um elemento não essencial para as plantas, Kelland et al. (2020) advertem que grande parte das culturas, em especial os cereais, acumulam esse nutriente na parte aérea, trazendo benefícios para o rendimento e a resistência ao estresse abiótico (seca, salinidade e calor) e biótico (pragas). Esses autores lembram que quando os resíduos da colheita não são devolvidos ao solo, ocorre o esgotamento das reservas de Si para as futuras culturas implantadas. Além disso, o silício pode deslocar os sítios de troca ocupados pelo fósforo presente no solo, mas indisponível para as plantas.

Para além de P, K, Si, o Cálcio (Ca), Magnésio (Mg) e Enxofre (S), vários micronutrientes são essenciais para o pleno desenvolvimento das plantas e suas relações de trocas entre as raízes e o solo. Adicionalmente, além de ampliar a oferta nutricional dos solos, o uso de rochas, especialmente as silicáticas, tem sido apontado como um mecanismo com grande potencial para sequestrar de CO₂ atmosférico (MANNING et al., 2013), seja porque potencializa o crescimento das plantas (SOARES et al., 2021), seja porque pode favorecer a formação de novos agregados no solo (CHURCHMANN et al., 2020). Para Beerling et al. (2018; 2020), o CO₂, capturado da atmosfera, participa diretamente das reações de intemperismo das rochas silicáticas, por meio do intemperismo aprimorado de rocha (*enhanced rock weathering* - ERW) ou ainda, por meio de mecanismos híbridos de captura do carbono (KELEMEN et al. 2020), que incorporam tanto o enriquecimento parcial de CO₂, usando a captura direta de ar com absorventes sintéticos, quanto a mineralização de carbono.

O processo de captura inorgânica de CO₂ depende, conforme Kelland et al. (2020), das taxas de aplicação desses insumos, dos tipos de silicatos presentes nas rochas, dos regimes de irrigação e da duração dos cultivos. Para os autores, ainda que as operações de logística (mineração, moagem, distribuição e aplicação) possam, inicialmente, contribuir com uma maior emissão de CO₂, conforme alertado por Lefebvre et al (2019), a aplicação desses materiais (especialmente silicatos de cálcio) tem uma capacidade de reduzir de 10 – 30% das emissões, em função das reações relacionadas à neoformação de carbonato pedogênico, os quais podem permanecer no solo, serem carreados ou absorvidos na biomassa vegetal. A captura, no último caso, seria temporária e ocorreria nos sítios de trocas catiônicas. O uso de plantio direto, comum no Brasil (FREITAS; LANDERS, 2014), aliado à aplicação de rochas moídas, contribuiria fortemente com

esse processo de sequestro e armazenamento do CO₂, uma vez que a palhada, que contém os cátions absorvidos na parte aérea das plantas (especialmente o cálcio), retorna ao solo contribuindo com um novo ciclo de captura de carbono atmosférico.

De outro lado, a captura, por meio de processos inorgânicos, está relacionada aos novos minerais formados no solo (ou agregados), que estão sujeitos a sofrer transporte mediante os fluxos de drenagens superficiais, tendo como destino final os oceanos. Ainda que existam controvérsias acerca desse mecanismo de captura de mais longo prazo, Kellend et al. (2020) sugerem que uma única aplicação de pó de basalto (dependendo da dosagem) pode atingir taxas de sequestro de carbono de 2 a 4 t/ha de CO₂ em até cinco anos, a depender das práticas de manejo. Também Hinsinger et al. (2001) informam que na liberação de nutrientes, a partir de rochas basálticas, o Ca e Na são, preferencialmente, liberados em relação a outros elementos, indicando que o plagioclásio se dissolve mais rápido do que os outros constituintes das rochas testadas, o que fortalece os pressupostos da possível captura de CO₂ em constituintes inorgânicos.

A presença de argilas (derivadas do intemperismo de rocha silicáticas) que, de maneira geral, possuem estruturas cristalinas de maior superfície específica, amplia a adsorção do carbono (CHURCHMANN et al., 2020). Quando essas argilas ou os minerais em processo de alteração e os microrganismos encontram-se presente no solo (em quantidades suficientes), cria-se um ambiente que favorece as reações nas zonas mais reativas desses minerais, devido a forte atração dos microrganismos por cargas negativas. Argilominerais, como as esmectitas, possuem maior efeito na supressão e decomposição de carbono orgânico no solo, ao contrário dos oxi-hidróxidos de Fe pouco cristalinos, que suprimem fortemente a decomposição de carbono (Hinsinger et al., 2001).

Importante ter em mente que o sequestro de CO₂ nos compostos orgânicos presentes nos solos, dá-se, inicialmente, pelo crescimento das plantas durante o processo de fotossíntese, para posterior liberação para o solo, por meio dos exsudatos das raízes e/ ou por sua decomposição da parte aérea (Churchmann et al. (2020). Ainda que muito precise ser desvendado, pode-se supor que ao elucidar os mecanismos de troca e de desgaste das rochas, por influencia de plantas ou de microrganismos, abre-se um caminho para entender a cinética de dissolução das rochas (Hinsinger et al., 2001), e como os ciclos biogeoquímicos dos principais macro e micro nutrientes afetam o solo e as plantas.

Portanto, além de alterar a fertilidade dos solos (e promover a produtividade de vários tipos de culturas), e da provável captura de CO₂, outros usos, igualmente importantes, estão relacionados à recuperação de solos degradados (THEODORO et al., 2020), onde a adição de pós de rocha colabora para a promoção de um “intemperismo reverso”. Na pesquisa desenvolvida por esses autores, foi mostrado que a associação de rochas silicáticas (ou seus subprodutos), que contenham concentrações significativas de K, P e Ca (como é o caso dos kamafugitos), com compostos orgânicos (esterco bovino), é capaz de recuperar solos bastante degradados, ainda que os

mesmos possuam oferta nutricional deficiente, pH ácido e baixa capacidade de troca catiônica (comuns em solos tropicais). O estudo mostrou que a adição desses insumos potencializou a germinação e o desenvolvimento de espécies agrícolas e florestais, em um tempo relativamente rápido. Após cinco anos, o sistema agroflorestal implantado (experimento a campo) mostrava um crescimento expressivo das árvores, algumas com mais de seis metros de altura.

Apesar de tais potencialidades, deve ser compreendido que a utilização dos remineralizadores não deve ser vista simplesmente como uma fonte de nutrientes, que serão rapidamente absorvidos pelas plantas cultivadas ou, ainda, como forma de acelerar os processos de sucessão e dinamização biológica nos solos (ALMEIDA et al., 2007), ou como forma de sequestrar e armazenar CO₂ (BEERLING et al, 2020; CHURCHMANN et al., 2020). Portanto, não se trata de um sistema de substituição de insumos (adubos químicos por pós de rocha) ou de redução de custos (LEFEBVRE, et al., 2019), mas de uma mudança de concepção sobre o manejo da fertilidade dos agroecossistemas.

No Brasil, a busca por novas formas de produção que considerem as sinergias entre o solo e as plantas, tem favorecido e ampliado o uso dos remineralizadores. Dados recentes do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) mostram que 25 empresas produtoras de remineralizadores já estão credenciadas para comercialização desses insumos (BRASIL/MAPA, 2021). E cerca de 4.000 mil agricultores brasileiros já utilizam os remineralizadores, em pelo menos cinco milhões de hectares². A produção e comercialização de remineralizadores, em 2020, ultrapassou 1.000.000 de toneladas, segundo um levantamento feito junto às empresas.

Essa ampliação foi favorecida pela instituição de um arcabouço normativo consistente e pela ampla oferta de diferentes tipos de rochas (basaltos, gabros, dunitos, dacitos, xistos, fonolitos, gnaisses, entre outras) disponíveis em várias regiões do país. Esse arcabouço legal favoreceu o protagonismo do Brasil, que criou regras para disciplinar e permitir o uso seguro desses materiais. Apesar de ser uma alternativa facilmente assimilável pelos agricultores, por sua simplicidade e custos (THEODORO; LEONARDOS, 2015; RAMOS et al, 2021), a construção de um conjunto de normas legais representa um importante mecanismo para assegurar e garantir que o uso de remineralizadores se dê segundo os princípios mencionados desde Hansel, Guimarães, Leonardos e outros pesquisadores que têm se dedicado a este tema.

Esse arcabouço legal inclui uma Lei (nº 12.890/2013), que definiu remineralizador como *um material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos; que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas e que promova a melhoria das propriedades físico-químicas ou a atividade biológica do solo* (Brasil, 2013). Essa Lei alterou a lei dos fertilizante de nº 6.894/1980 (Brasil 1980) e inseriu os remineralizadores como uma categoria de insumos de uso permitido no Brasil.

2. Ainda é pouco se comparado às 79.246.491 ha cultivados no país (IBGE, 2019), mas significativo por ser uma opção recentemente incorporada às práticas de manejo empregadas nos sistemas produtivos brasileiros

Posteriormente, a edição do Decreto nº 8.384/2015 (que alterou o Decreto nº 4.954/2004) estabeleceu as normas gerais sobre registro, padronização, classificação, inspeção e fiscalização da produção e do comércio desses materiais como dos demais fertilizantes (Brasil, 2015). Mas foi a edição de duas Instruções Normativas nº 05 e 06/2016, pelo Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que inseriu regras mais detalhadas sobre as garantias mínimas que os remineralizadores devem apresentar, de forma a obterem registro para sua comercialização e uso (BRASIL, 2016).

Dentre essas garantias, destacam-se algumas características geoquímicas importantes, as quais estão baseadas no entendimento de que remineralizar os solos é uma maneira de adicionar compostos minerais ou nutrientes, que têm a função de revitalizá-los. Nesse sentido, a IN 05 dispôs que a soma de bases (K_2O , CaO e MgO) deve ter teor igual ou superior a 9% (m/m) e estabeleceu que o conteúdo de K_2O deve ser igual ou maior que 1%. Garante-se, dessa forma, que além de nutrientes, a adição desses materiais ricos em bases trocáveis poderá contribuir com os processos de alteração do pH dos solos (bases trocáveis), tornando-o mais reativo e favorecendo, também a capacidade de troca catiônica (CTC). Limitar o uso de materiais que contenham elementos potencialmente tóxicos (EPT) foi outra preocupação presente nessa Norma, bem como a presença em excesso de minerais não reativos, como é o caso do quartzo (SiO_2 livre), que não pode ser superior a 25% do total (THEODORO, 2019).

Para além dos aspectos geoquímicos, a IN 05/2016 ainda estabeleceu que os remineralizadores devem possuir um range granulométrico (Anexo I), que permita diferentes tempos de reatividade no curto, médio e longo prazos. Materiais com diferentes faixas granulométricas potencializam o efeito residual (oferta de nutrientes por períodos mais longos) (BASAK et al, 2020; KELLEND et al. 2020). Para além disso, segundo Theodoro et al., 2012, a diferença no tamanho das partículas permite e favorece o rearranjo físico dos solos, uma vez que tende a interferir diretamente na porosidade efetiva (permoporosidade). Para os autores, quando se acrescenta rochas moídas em um solo arenoso, as partículas mais finas tendem a reordenar o arranjo dos poros, “interditando” parte das interconexões. E, ao contrário, quando o solo é mais argiloso, o acréscimo de rochas moídas, com maior granulometria, facilita o rearranjo das partículas e aumenta as possibilidades de interconexão, interferindo no tempo de migração e percolação dos fluídos.

Além disso, conforme Fyfe (1989), os materiais de granulometria mais fina (de origem orgânica e mineral) desempenham um papel importante nas zonas de interações planta-raiz, uma vez que facilitam as trocas de íons, podendo resultar na formação de um banco de nutrientes. Além disso, esses materiais possuem um efeito tampão, quando ocorre a precipitação de elementos tóxicos ou altas cargas de fertilizantes solúveis.

Ainda com relação a IN 05/2016, embora não tenha sido explicitado na Normativa, a presença de silício (amplamente presente nas rochas silicáticas), de fósforo e de micronutrientes (os quais

podem ser declarados no rótulo dos produtos registrados, como atributos adicionais - Anexo II) em muitas rochas amplia as possibilidades de reações, especialmente, na presença de matéria orgânica, fortalecendo a atividade microbiana no solo e tornando-o mais suscetível ao processo de intemperismo (SETIAWATI; MUTMAINNAH, 2016; Hinsinger, 2001).

Essa possibilidade, prevista na Normativa, resulta do fato de que o silício e o fósforo competem pelos mesmos sítios, nos arranjos cristalinos das argilas presentes nos solos. Assim, o acréscimo de rochas silicáticas pode favorecer a liberação do fósforo, uma vez que o silício tende a deslocar esse elemento (P) dos sítios de adsorção das argilas, aumentando a sua translocação para as plantas (CARVALHO, 2012).

Apesar do crescente número de resultados obtidos em pesquisas nacionais (LEONARDOS, et al., 2000; THEODORO et al., 2013 e 2021; DALMORA et al, 2017; RAMOS et al., 2020 e 2021; SANTOS et al., 2021; SOUZA, et al, 2019) e internacionais (MANNING et al., 2013; SON et al., 2020; van STRAATEN, 2006; BRODIE 2015; SETIAWATI; MUTMAINNAH, 2016; Kellend et al., 2020; ZHANG et al., 2020; YANG et al., 2021), que mostram ganhos de produtividade, de ampliação das práticas de manejo com associações de materiais de origem orgânica, dos mecanismos que incrementam o sequestro de carbono, dos custos potencialmente menores para aquisição e aplicação dos remineralizadores de solo, ainda há um longo caminho a ser percorrido para popularizar o seu uso.

Novas ações e estratégias são especialmente importantes para confirmar o Brasil como um protagonista no uso desses insumos. Essas intervenções devem ir ao encontro dos importantes atributos presentes no País, no que se refere à diversidade de agroecossistemas, de rochas aptas e de modelos produtivos. Portanto, além de fortalecer as normas legais que garantem o uso seguro e eficaz dos remineralizadores, outras ações são fundamentais para ampliar o uso da tecnologia da rochagem, entre as quais se pode destacar: (i) criação e implementação de políticas públicas que se complementem e incentivem os agricultores a recorrer a este tipo de insumo; (ii) expansão da oferta de diferentes tipos de remineralizadores para atender demandas distintas (de nutrientes, de preços e regiões); (iii) incentivos de crédito e de assistência técnica qualificada para esse fim; (iv) investimentos em pesquisa; (v) apoio à formação de redes de serviço capazes de caracterizar os materiais, bem como comprovar as suas distintas vantagens agronômicas; (vi) criação de cursos de especialização regulares e multidisciplinares nas diferentes regiões do País para formar profissionais que entendam as dinâmicas regionais dos agroecossistemas, a oferta de remineralizadores disponíveis e possíveis associações com fontes orgânicas ou microrganismos específicos; (vii) enfrentamento da visão utilitarista do solo para atender o mercado; (viii) descolonização da forma de entender e utilizar os solos tropicais; (ix) apoio às instituições que fortaleçam processos de transição das práticas produtivas; (x) definição de estratégias de bioeconomia, com vistas ao fortalecimento do País na geopolítica global do comércio de produtos (alimentos e commodities) e de insumos; (xi) implementação

de incentivos para reduzir a vulnerabilidade de acesso aos insumos; (xii) valorização dos ganhos relacionados à sustentabilidade do setor agrícola-mineral e sua adesão às práticas que favoreçam o alcance dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, estabelecidos pelas Nações Unidas; (xiii) criação de mecanismo de compensação (redução de taxas e impostos sobre o uso da terra, por exemplo) para valorizar práticas exitosas; (xiv) elevação dos remineralizadores à condição de insumo estratégico, o que deverá repercutir na integração de sistemas alimentares e da biodiversidade e (xv) fortalecimento ou criação de novas rotas de mercados, valorizando iniciativas regionais, como é o caso dos Arranjos Produtivos Locais de perfil agrícola-mineral.

Outras ações importantes devem ser consideradas para atender demandas e interesses locais, mas sempre tendo em mente que não se trata de transferir tecnologias ou práticas, mas de aliar e valorizar experiências e estratégias de produção que podem (e devem) ser tão diversas quanto são os interesses dos distintos estabelecimentos produtivos (grandes e pequenos produtores) e os agroecossistemas. Nesse aspecto, assimilar, praticar e facilitar o apoio às diversas oportunidades e iniciativas produtivas, incluindo os sistemas de consorciamento entre plantas, animais e árvores, bem como de materiais disponíveis, local ou regionalmente, tende a popularizar formas de produção que conduzam às transformações socioprodutivas, econômicas e ambientais.

Tão importante quanto esses aspectos, as pesquisas vêm mostrando que a adição de rochas moídas tem a capacidade de reduzir a demanda por fertilizantes químicos, que são caros e causam efeitos deletérios aos ecossistemas, e, ao mesmo tempo, garantir a produção de alimentos e a segurança alimentar (Beerling et al 2018, Manning et al 2013, Theodoro et al 2020).

Considerações finais

Entender a intrincada rede de dependência e de potencialidades entre os recursos minerais (derivados das rochas e dos solos) e os microrganismos é uma forma de resgatar vínculos perdidos ao longo do processo civilizatório. Esse retorno ou reconexão com os elementos que sustentaram o desenvolvimento da vida de todas as espécies, incluindo os seres humanos, não significa um retrocesso, mas uma forma de interagir, de forma mais natural, com os diferentes ecossistemas.

Ao longo desse trabalho, se procurou mostrar que o uso de fontes minerais, amplamente disponíveis em todas as partes do planeta, tem a capacidade de recuperar fertilidades esgotadas, favorecer produções agrícolas, sequestrar CO₂ e ainda recuperar áreas degradadas. Além disso, baseando-se em vários autores, foi possível mostrar que os materiais derivados de rochas silicáticas (remineralizadores), considerados de baixa solubilidade, favorecem mecanismos bioquímicos que ampliam a oferta de nutrientes, a depender dos objetivos produtivos.

Mas é vital que se compreenda que essas fontes de nutrientes têm uma outra dinâmica, tanto na quantidade (teores disponíveis) quanto no manejo dos agroecossistemas. Ao contrário do uso de

fontes solúveis (com oferta restrita de nutrientes), que forcem às plantas as respostas específicas (produtividades infinitamente crescentes), os remineralizadores caracterizam-se como fontes multinutrientes, que interagem no solo de forma mais completa e complexa, favorecendo a produção de alimentos mais nutritivos. Dependendo da origem, da gênese e da estrutura cristalina das rochas, os remineralizadores podem conter e fornecer uma imensa variedade de compostos ou substâncias importantes para resguardar a saúde e a economia.

Ainda que a adoção desse caminho demande tempo, espera-se que o compartilhamento de experiências exitosas e o estabelecimento de novas formas para o enfrentamento de problemas relativos à produção agrícola e à degradação dos solos sinalizem um novo caminho, que permitirá a construção de diferentes perspectivas de um futuro mais seguro, do ponto de vista alimentar. Muitos outros problemas, impasses e injustiças precisam ser discutidos, no atual momento civilizatório, mas uma condição essencial diz respeito à qualidade e sanidade dos agroecossistemas, para preservar a vida. Nessa lógica, aprimorar a capacidade produtiva e a preservação dos recursos, pode restabelecer a aliança ou os vínculos dos seres humanos com o solo, que derivou das rochas, que são geradas para possibilitar a vida. Estamos, portanto, frente a uma oportunidade de mudar os paradigmas!

Referências

- ALMEIDA, E.; SILVA, F.J.P.; RALICSH, R. (2007) Revitalização do solo em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. *Agriculturas: experiências em agroecologia*, Rio de Janeiro, 4(1).
- ARCAND, M. M.; SCHNEIDER, K. D. (2006) Plant- and microbial-based mechanisms to improve the agronomic effectiveness of phosphate rock: a review. *An. Acad. Bras. Ciênc.* V.78. N.4. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400013>
- BADR, M. A. (2006). Efficiency of K-feldspar combined with organic materials and silicate dissolving bacteria on tomato yield. *Journal of Applied Science Research*, 2, 1191–1198.
- BASAK, B. B. (2018) Recycling of waste biomass and mineral powder for preparation of potassium-enriched compost. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(6), pp. 1409–1415. <https://doi.org/10.1007/s10163-018-0699-4>
- BASAK, B.B; SARKAR, B.; SANDERSON, P. NAIDU, R. (2018) Waste mineral powder supplies plant available potassium: Evaluation of chemical and biological interventions, *Journal of Geochemical Exploration*. V 186. p 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.023> <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2017.11.023>
- BASAK, B. B.; SARKAR, B.; NAIDU R. (2020) Environmentally safe release of plant available potassium and micronutrients from organically amended rock mineral powder. *Environ Geochem Health* (2020). <https://doi.org/10.1007/s10653-020-00677-1>
- BEERLING, D.J., KANTZAS, E.P., LOMAS, M.R., WADE, P., EUFRASIO, R.M., RENFORTH, P., SARKAR, B., ANDREWS, M.G., JAMES, R.H., PEARCE, C.R., MERCURE, J.F., POLLITT, H., HOLDEN, P.B., EDWARDS, N.R., KHANNA, M., KOH, L., QUEGAN, S., PIDGEON, N.F., JANSSENS, I.A., HANSEN, J., BANWART, S.A., 2020. Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature* 583, 242-248. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2448-9>

- BEERLING, D.J., LEAKE, JR, LONG SP, SCOLES JD, TON J, NELSON PN, BIRD M, KANTZAS E, TAYLOR LL, SARKAR B, KELLAND M, DeLUCIA E, KANTOLA i, MULLER C, RAU G, HANSEN J (2018) Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants* 4, 138–147 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>
- BOLLAND, M. D. A.; BAKER, M. J. (2000) Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(1), pp. 59–68.
- Brasil, 2013. Lei 12.890/2013 de 10 de dezembro de 2013 - Altera a Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/lei/l12890.htm (Consultado 22 Março 2021).
- Brasil, 2015. Decreto No. 8,384 – Regulamenta a Lei No 6.894, de 16 de dezembro de 1980. http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/decreto/D8384.htm. (Consultado 22 Março 2021).
- Brasil/ Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - Brasil (2016) Instrução Normativa Nº 05/ 2016. https://www.in.gov.br/materia/-/asset_publisher/Kujrw0TZC2Mb/content/id/21393137/do1-2016-03-14-instrucao-normativa-n-5-de-10-de-marco-de-2016-21393106. Consultado: 22 Março 2021
- Brasil/Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2021). Indicadores da agricultura. Disponível: <https://indicadores.agricultura.gov.br/fertilizantes>
- BRODIE, J. (2015) Soil remineralization in Scotland. In: Goreau, T. J. Larson, R. W.; Campe, J. (Eds). *Geotherapy: Innovative Methods of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration and Reversing CO₂ Increase*. CRC Press, pp. 385–402.
- CAPORAL, F. R. (2016) Poderá a Agroecologia responder aos cinco axiomas da sustentabilidade? *Revista Brasileira de Agroecologia*, [S.l.], v. 11, n. 4, dec. 2016. ISSN 1980-9735. Disponível em: <<http://revistas.aba-agroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/20668>>. Acesso em: 06 apr. 2021.
- CARDOSO, I. M.; FÁVERO, C. (2018) Resignificar nossas percepções sobre o solo: atitude essencial para manejar agroecossistemas sustentáveis. In: Cardoso, M. C. e Fávero, C. (eds) *Solos e Agroecologia*. V. 4. Ed. Embrapa/ Brasília. pp 33 – 60. ISBN: 978-85-7035-774-8.
- CARVALHO, A. M. X. (2012) Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa. 116p. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/1631>
- CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; SOUZA, M. E. P. THEODORO, S. H. (2018) Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: I. M. Cardoso; C. Fávero (Org.). *Solos e agroecologia*. Coleção Transição Agroecológica – V. 4. Embrapa, pp. 101-128. ISBN: 978-85-7035-774-8.
- CHESWORTH W. 1993. The first twenty-nine days: Prospects for agrogeology. In: PRIDE C AND VAN STRAATEN P (Eds), *Agrogeology and small-scale mining*. Small Mining International, Bulletin 5-6: 2-3.
- CHURCHMAN, G. J.; SINGH, M.; SCHAPEL, A. SARKAR, B.; BOLAN, N. (2020) Clay minerals as the key to the sequestration of carbon in soils. *Clays and Clay Minerals*, 68, 135–143. <https://doi.org/10.1007/s42860-020-00071-z>
- DALMORA, A. C.; RAMOS, C. G.; OLIVEIRA, M. L. S.; TEIXEIRA, E. C.; KAUTZMANN, R. M.; TAFFAREL, S. R.; BRUM, I. A. S.; SILVA, L. F. O. (2016) Chemical characterization, nano-particle mineralogy and particle size distribution of basalt dust wastes. *Science of the Total Environment*, 539(1), pp. 560–565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.141>
- ESCOSTEGUY, P. A. V.; KLAMT, E. (1998) Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 22(1), pp. 11-20.

- FREITAS, P. L.; LANDERS, J.N (2014) The Transformation of agriculture in Brazil through development and adoption of zero tillage conservation agriculture. *International Soil and Water Conservation Research*. V 2 (1). 35-46. [https://doi.org/10.1016/S2095-6339\(15\)30012-5](https://doi.org/10.1016/S2095-6339(15)30012-5)
- FYFE, W. S.; LEONARDOS, O. H. (1978) Global tectonics and resources for man: minerals and agriculture. *Jornal de mineralogia*. Volume Djalma Guimarães, Recife, V* 7, pp.: 51 – 58.
- FYFE WS. 1989. Soil and global change. *Episodes* 12(4): 249-254.
- GÖTSCH, E. *Homem e Natureza Cultura na Agricultura*. 2a Edição Centro de Desenvolvimento Agroecológico Sabiá, Recife, Pe, 1997.
- GUIMARÃES, D. *Contribuição aos estudo dos Tufos da mata da Corda*. Inst. de Tecnologia Industrial. Minas Gerais. 31p. 1955
- HARLEY, A., GILKES, R. Fatores que influenciam a liberação de elementos nutrientes para plantas a partir de pós de rocha de silicato: uma visão geral geoquímica. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 56, 11–36 (2000). <https://doi.org/10.1023/A:1009859309453>
- HENSEL, J., 1894. *Bread from Stones: A New and Rational System of Land Fertilization and Physical Regeneration*. AJ Tafel.
- HINSINGER P. (2001) Bioavailability of inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil* 237, 173–195. <https://doi.org/10.1023/A:1013351617532>
- HINSINGER, P.; GILKES, R.J. (1997) Dissolution of phosphate rock in the rhizosphere of five plant species grown in an acid, P-fixing mineral substrate. *Geoderma*, V 75 (3–4). p.231-249, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(96\)00094-8](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(96)00094-8).
- ILCHENKO, W. (1955) *Os tufos da Mata da Corda e seu emprego na Agricultura*. Dep. Prod. Vegetal. Belo Horizonte. *Boletim Agricultura* 9-10, 39–71.
- KELEMEN PB, MCQUEEN N, WILCOX J, RENFORTH P, DIPPLE G, VANKEUREN AP (2020) Engineered carbon mineralization in ultramafic rocks for CO2 removal from air: Review and new insights. *Chemical Geology*, 550. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119628>
- KELLAND ME; WADE PW; LEWIS AL; TAYLOR, LL; SARKAR B.; ANDREWS MG; LOMAS MR; COTTON TA; KEMP SJ; JAMES RL; PEARCE CR; HARTLEY SE; HODSON ME; LEAKE JR; BANWART SA; BERLING DJ. Increased yield and CO₂ sequestration potential with the C₄ cereal *Sorghum bicolor* cultivated in basaltic rock dust-amended agricultural soil. *Global Change Biology* <https://doi.org/10.1111/gcb.15089>
- KRONBERG, B. I.; LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S. (1987) The use of ground rocks in laterite systems – an improvement to the use of conventional soluble fertilizers. *Chemical Geology*, 60(1-4), pp. 361–370. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(87\)90143-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(87)90143-4)
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S. (1978) Global tectonics and resources for man: minerals and agriculture. *Jornal de Mineralogia*, 7, pp. 51 - 58.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. (1976) Rochagem: o método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. *Anais 29th Congresso Brasileiro de Geologia*, Brasil, p. 137– 145.
- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H.; ASSAD, M. L. (2000) Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian viewpoint. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 56(1), pp. 3-9. <https://doi.org/10.1023/A:1009855409700>

- LEFEBVRE, D.; GOGLIO, P.; WILLIAMS, A.; MANNING, D. C.; AZEVEDO, A. C.; BERGMANN, M.; MEERSMANS, J.; SMITH, P. (2019) Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: a case study for Sao Paulo State, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 233(2), pp. 468-481. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>
- LOVELOCK, J. E.; MARGULIS, L. (1974). Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus*, XXVI(1-2):2-10.
- MANNING, D. A. C. (2013) Resolving the Conflict between Mining and Sustainability *Applied Environmental Research* <http://www.tci-thaijo.org/index.php/jer> 36 (1). 3-12
- MANNING, D. A. C. (2010) Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 30. p.281-294 <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>
- MANNING, D. A. C.; RENFORTH, P.; LOPEZ-CAPEL, E.; ROBERTSON, S.; GHAZIREH, N. (2013) Carbonate precipitation in artificial soils produced from basaltic quarry fines and composts: an opportunity for passive carbon sequestration. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 17, pp. 309-317. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.05.012>
- MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. (2018) Enabling food security through use of local rocks and minerals. *The Extractive Industries and Society*, 7(2), pp. 480-487. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>
- MELGAREJO, L. (2013) Entre a miopia destrutiva e resiliência construtiva: dez anos de transgenia e Agroecologia no Brasil. *Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável*, v. 6, p. 67.
- MBISSIK, A.; ELGHALIA, A.; OUABID, M.; RAJI, O.; BODINIER, J.-L.; EL MESSBAHI, H. (2021) Alkali-Hydrothermal Treatment of K-Rich Igneous Rocks for Their Direct Use as Potassic Fertilizers. *Minerals*, 11, 140. <https://doi.org/10.3390/min11020140>
- PRIMAVERSI, A. (1988) Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais. Ed. Nobel. São Paulo. ISBN 85-213-0004-2. 550 p.
- RAMOS, C. G. HOWER, J. C.; BLANCO, E., OLIVEIRA, M. L. S. THEODORO, S. H. (2021) Possibilities of using silicate rock powder: An overview. *Geoscience Frontiers*. ISSN 1674-9871. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2021.101185>
- RAMOS, C. G.; MEDEIROS, D. S.; GOMEZ, L., OLIVEIRA, L.F.S., SCHNEIDER, I.A.H., KAUTZMANN, R.M. (2020) Evaluation of Soil Re-mineralizer from By-Product of Volcanic Rock Mining: Experimental Proof Using Black Oats and Maize Crops. *Natural Resources Research*, 29(3), pp. 1583-1600. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>
- ROCHA, E.J.P. (2006) Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruta D'anta/MG: potenciais e limitações para a transição agroecológica. Master thesis, CDS/UnB, Brasília/DF, Brazil.
- SANTOS, L. F. dos.; SODRÉ, F. F.; MARTINS, É. de S.; FIGUEIREDO, C. C. de; BUSATO, J. G. (2021) Efeitos de biotita sienito sobre os níveis de nutrientes e cargas elétricas em Latossolo de Cerrado: Effects of finely ground biotite syenite. *Pesquisa Agropecuária Tropical*. v. 51, p. e66691 Disponível em: <https://www.revistas.ufg.br/pat/article/view/66691>. Acesso em: 4 abr. 2021.
- SETIAWATI, T. C.; MUTMAINNAH, L. (2016) Solubilization of Potassium Containing Mineral by Microorganisms From Sugarcane Rhizosphere. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. V.9. 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.134>
- SOARES, G. J. (2018) Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico. Mather Thesis, University of Brasília. 99p. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/33088?locale=en>

- SON, Y.; STOTT, K.; MANNING, D A. C.; COOPER, J. (2021) Carbon sequestration in artificial silicate soils facilitated by arbuscular mycorrhizal fungi and glomalin-related soil protein. *European Journal of Soil Science* 72(2). <https://doi.org/10.1111/ejss.13058>
- SOUZA, M. E. ; CARDOSO, I. M. ; DE CARVALHO, A. M. X. ; LOPES, A. P.; JUCKSCH, I. (2019) Gneiss and steatite vermicomposted with organic residues: release of nutrients and heavy metals. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agric*, v. 8, p. 1, 2019.
- TAVARES, L. F. ; CARVALHO, A.M.X. ; PEREIRA, S. ; CARDOSO, I. M. (2018) Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. *International Journal of Recycling Of Organic Waste in Agric*. V7, p. 1-10. <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0194-x>
- THEODORO, S. H. (2000) A Fertilização da Terra pela Terra: Uma Alternativa de Sustentabilidade para o Pequeno Produtor Rural. Doctoral Thesis, University of Brasília. 231p. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/20881>.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. (2006) The use of rocks to improve Family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78(4), pp. 721 – 730. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400007>
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ROCHA, E.; MACEDO, I.; REGO, K. G.; KLEYSSON G. (2013) Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the Tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *An. Acad. Bras de Cienc.*, 85(1), pp. 23-34. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000100003>
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. (2015) Stonemeal: principles, potential and perspective from Brazil. In: T. J. Goreau, R. W. Larson, J. Campe (Eds). *Geotherapy: Innovative Methods of Soil Fertility Restoration, Carbon Sequestration and Reversing CO₂ Increase*. CRC Press, pp. 403–418. ISBN: 978-1-4665-9539-2
- THEODORO, S.H., MEDEIROS, F.P., IANNIRUBERTO, M., JACOBSON, T.K.B (2020). Soil remineralization and recovery of degraded areas: An experience in the tropical region. *J. S. Am. Earth Sci.* 103014. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2020.103014>.
- Van STRAATEN (2006) Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Acad. Bras. de Cienc.* 78(4) p.721-730. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400009>
- VEIGA, J. E (1991) O desenvolvimento agrícola: uma visão histórica. São Paulo. Ed. da USP/HUCITEC. 219 p. ISBN: 85-314-0032-5.
- WEERASURIYA, T.J., PUSHPAKUMARA, S.; COORAY, P. I. (1993) Mica pegmatítica acidulada: Um novo fertilizante mineral multi-nutriente promissor. *Fertilizer Research* 34, 67-77 <https://doi.org/10.1007/BF00749962>
- YANG, X.; LONG, Y.; SARKAR, B.; LI, Y.; LÜ, G.I; ALI, A.; YANG, J.; CAO, YUE-E. (2021). Influence of soil microorganisms and physicochemical properties on plant diversity in an arid desert of Western China. *Journal of Forestry Research*. <https://doi.org/10.1007/s11676-021-01292-1>
- ZHANG,L. GADD,G. M.; LI, Z. (2020) Microbial biomodification of clay minerals. *Advances in Applied Microbiology, Academic Press*. <https://doi.org/10.1016/bs.aambs.2020.07.002>.



TEMA 1

Caracterização e métodos

COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO TOTAL DE K₂O, CAO E MGO EM REMINERALIZADORES DE SOLO

YÁSKARA MARIANA VARGAS CAMILO¹; ALESSANDRO PIO²; ÉDER DE SOUZA MARTINS³; LUIZ SÁVIO MEDEIROS TEIXEIRA¹; ALINE PEREIRA MORAES^{1*}

¹ Laboratório Federal de Defesa Agropecuária, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/MAPA, Brasil. Endereço Rua da Divisa s/n, Setor Jaó, CEP 74674-025, Goiânia-GO

² Instituto Tecnológico do Estado de Goiás - ITEGO, COTEC – CDTM, Centro de Desenvolvimento Mineral, 74620030 Goiânia. GO, Brasil

³ Embrapa Cerrados. BR 020, km 18, Rodovia Brasília/Fortaleza, Planaltina, DF – Brasil – CEP 73310-970

*aline.moraes@agricultura.gov.br

Resumo:

A publicação da IN SDA/MAPA nº 05/2017, que regulamenta o uso de remineralizadores de solo, resultou na necessidade do desenvolvimento de métodos analíticos oficiais para determinação dos nutrientes e contaminantes especificados na legislação, como suporte do controle e fiscalização destes produtos. Como os remineralizadores de solo são materiais silicatados, a abertura total da amostra requer a utilização de ácidos fortes incluindo o ácido fluorídrico, que é o ácido mais eficiente na quebra de ligações Si-O. Esse trabalho teve como objetivo a aplicação dos métodos de extração total AOAC 965.09 e EPA 3052 na análise de K₂O, CaO e MgO em remineralizadores registrados pelo MAPA. Os resultados demonstraram que os dois métodos de extração testados foram satisfatórios de modo geral, atingindo as garantias propostas dos produtos ensaiados. Até o momento, a análise de K₂O, pelo método AOAC 965.09, teve seu desempenho verificado e foi demonstrado que ele atende aos requisitos de precisão e exatidão. Foram estimados os limites de detecção e quantificação do método.

Palavras-chave: extração total por via úmida; análise química; remineralizadores

INTRODUÇÃO

De acordo a Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013, os remineralizadores são definidos como produtos derivados de rochas que sofreram redução de tamanho por processamento mecânico e que alteram a fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas,

bem como promovem a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo. Essa lei definiu o marco legal dos remineralizadores, pois os incluiu como uma categoria de insumo destinado à agricultura. Sua aplicação no solo, também conhecida como rochagem, tem a função de remineralizar/rejuvenescer os solos e, portanto, aumentar a sua fertilidade (LEONARDOS et. al., 1976).

Em 2016, foi publicada pelo MAPA a Instrução normativa nº 05, em 10 de março de 2016, que regulamenta as garantias mínimas de nutrientes e limites máximos de contaminantes em remineralizadores de solo, para registro de novos produtos, sendo o principal critério de aceitação a soma de bases K_2O , CaO e MgO igual ou superior a 9%, com um mínimo de 1% de K_2O . No entanto, ainda não há metodologias oficiais definidas de análise química desses produtos e, desde 2016, o Ministério da Agricultura tem realizado estudos de aplicação de métodos de análise química de remineralizadores, para atender essa demanda.

As técnicas comumente utilizadas em laboratórios de rotina, para dissolução de amostras geológicas sólidas, são a fusão alcalina, o ataque ácido em sistema aberto e o ataque ácido em sistema fechado com ou sem auxílio de micro-ondas (TORRERO, 2017). A digestão por fusão alcalina apresenta como desvantagem altos teores salinos na solução final, que aumentam consideravelmente o efeito de matriz nas determinações por espectrometria de absorção atômica (EAA) ou espectrometria de emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), tornando os métodos de extração por ataque ácido mais vantajosos especialmente na análise de elementos com baixa concentração em rochas.

Inicialmente, foram feitos testes de comparação entre vários métodos de extração de rochas silicáticas em sistema aberto, com diferentes combinações de ácido. Os dois métodos testados mais promissores foram o método de extração AOAC 965.09 item c-alternativo (método A) e o método com ácido fluorídrico e água-régia (método C) na análise de K_2O , CaO e MgO totais, os quais foram aplicados nas amostras 1 e 2 (CAMILO et al., 2019). Os resultados encontrados mostraram que o método AOAC 965.09 resulta em uma digestão mais eficiente das amostras, com menos resíduos sólidos insolúveis, além de maior recuperação de CaO para a amostra 1, com diferença significativa em relação ao método utilizando ácido fluorídrico e água-régia (CAMILO et al., 2019). Em virtude desses resultados, o método da AOAC 965.09 foi escolhido para estudo de abrangência de aplicação nas amostras de remineralizadores e está apresentado nesse trabalho. Além disso, como alternativa ao método em sistema aberto, também foi verificada a aplicação do método EPA 3052, cuja digestão é assistida por micro-ondas com ácido fluorídrico e ácido clorídrico na análise de remineralizadores.

Assim, o objetivo deste estudo foi verificar o desempenho dos métodos normalizados de extração total por via úmida AOAC 965.09 item c e EPA 3052 na análise de K_2O , CaO e MgO em remineralizadores, para utilização na fiscalização e controle de qualidade desses produtos nos laboratórios oficiais e cadastrados no MAPA.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras estudadas

Nesse estudo, foram analisados seis tipos de remineralizadores registrados pelo MAPA, que estão listados na tabela 1. As amostras foram fornecidas pelos produtores, a pedido do serviço de fiscalização, e enviadas ao LFDA-GO. A caracterização química desses produtos foi realizada por fluorescência de raios-X.

Tabela 1 - Remineralizadores analisados nesse estudo.

Amostras	Produtor	Nome comum	Composição química ¹		
			K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)
1	Mistel (Luziânia-GO)	Micaxisto	2,86	13,58	7,29
2	Pedreira Araguaia (Aparecida de Goiânia- GO)	Micaxisto	3,0	1,8	4,3
3	Mineração Curimbaba (Poços de Caldas - MG)	Rocha potássica	11,9	2,0	0,285
4	Triunfo (Carmo de Paranaíba-MG)	Basalto	3,0	4,11	4,94
5	Mineração Curimbaba (Poços de Caldas - MG)	Fonolito	8,0	1,58	0,22
6	Verde Fertilizantes (São Gotardo - MG)	Siltito glauconítico	10,0	-	3,0

¹ Dados obtidos por análise de fluorescência de raios-X.

Fluorescência de raios-X

As medidas de fluorescência de raios X (FRX) das amostras foram realizadas no CRTI, Goiânia-GO em um espectrômetro ZSX Rigaku modelo Pirmus IV, equipado com tubo de Rh. No preparo das amostras, uma alíquota de aproximadamente 5,0 g da amostra foi separada por quarteamento manual e pulverizada em moinho planetário de bolas (ágata) por 40 minutos. Após a moagem, a amostra foi seca em estufa a 105 °C por 12 horas e destinada à determinação da perda na ignição (LOI) ou ganho na ignição (GOI).

Para determinação do LOI ou GOI, a amostra foi calcinada a 1000 °C por 5 horas. Uma alíquota de 1 grama da amostra, previamente calcinada, foi fundida com 9,0 g de tetraborato de lítio. Para análise dos óxidos maiores, a calibração foi realizada com uma curva de calibração composta por padrões de rochas e minerais naturais certificadas.

Equipamentos e reagentes utilizados

Todas as vidrarias e equipamentos tiveram sua calibração e/ou qualificação avaliados previamente. As balanças utilizadas são das marcas Gibertini, modelo E 425-B e Shimadzu, modelo AY220. A extração

assistida por forno de micro-ondas foi realizada em forno *Milestone*, modelo Ethos UP. A análise de K_2O foi realizada em fotômetro de chama Micronal, modelo B462. As análises de CaO e MgO foram analisados em espectrômetro de absorção atômica no modo chama Perkin Elmer, modelo PinAAcle 500 *Touch*.

Preparo da amostra

As amostras foram homogeneizadas e quarteadas em quarteador do tipo Jones até cerca de 200 g. A porção quarteada foi totalmente moída e passada em peneira com abertura de malha de 300 μm .

Métodos de extração

Método A. Extração em sistema aberto com HF, HCl e MeOH (método AOAC 965.09 item c-alternativo)

Foram pesados 0,50 g da amostra, que foi transferida para uma cápsula de teflon e adicionados 10 mL de HCl, 5 mL de HF e 10 mL de metanol, nessa sequência. A amostra foi homogeneizada e aquecida em chapa aquecedora até secar. Em seguida, foi adicionado 5 mL de HCl e novamente levado à secura. Na sequência, foi adicionado 20 mL de HCl 2 mol L^{-1} e a amostra foi levada à ebulição branda por 5 minutos. A amostra foi esfriada e a solução transferida para balão volumétrico de 100 mL completado com água destilada.

Método B. Extração assistida por forno de micro-ondas com ácido fluorídrico e ácido clorídrico (método EPA 3052)

A amostra (0,25 g) foi transferida para o tubo de teflon do forno de micro-ondas. 9 mL de HNO_3 e 4 mL de HF foram adicionados à amostra, que foi homogeneizada. Os tubos foram deixados em repouso, por 30 minutos, para possível liberação de gases. Em seguida, os tubos foram submetidos à rampa de aquecimento no forno de micro-ondas, conforme apresentado na tabela 2. Após esfriarem, as amostras foram transferidas para cápsula de teflon e aquecida até secura, em chapa aquecedora, para eliminação do HF residual. Na sequência, foi adicionado 20 mL de HCl 2 mol L^{-1} e a amostra foi levada à ebulição branda, por 5 minutos. Após esfriar, a solução foi transferida para balão volumétrico de 100 mL e completado com água destilada.

Tabela 2 - Programação utilizada na extração do método B (EPA 3052).

Sequência	Tempo (min)	Temperatura ($^{\circ}C$)	Potência (W)
1	5,5	180 \pm 5	1500
2	9,5	180 \pm 5	1500

Método C. Extração em sistema aberto com HF, HNO_3 e HCl

Foram pesados 0,50 g da amostra, que foi transferida para uma cápsula de teflon e adicionados 10 mL de HF. A amostra foi aquecida em chapa, até secar. Após esfriar, foram adicionados 9 mL de HCl

e 3 mL de HNO_3 na amostra que foi levada à ebulição, até clarear os fumos de NO_2 . A amostra foi esfriada e a solução transferida para balão volumétrico de 100 mL, completado com água destilada.

Quantificação

A quantificação de K_2O foi realizada por fotometria de chama, e de CaO e MgO , por espectrofotometria de absorção atômica modo chama, de acordo com o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos (IN nº 37, de 13/10/2017). Para controle da análise de K_2O , foi utilizada uma amostra de referência interna. Na quantificação de CaO foi utilizada uma curva de calibração de 2,5, 5, 7,5 e 10 mg L^{-1} , e na de MgO , 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 mg L^{-1} . Nas análises de CaO e MgO foi utilizado como controle de qualidade a amostra de referência certificada Nist 695.

Análise estatística

A comparação estatística entre os dois métodos foi realizada com teste de Tukey, por meio de ferramenta disponível no endereço eletrônico https://astatsa.com/OneWay_Anova_with_TukeyHSD/ e $\alpha = 0,05$.

Validação das análises de K_2O , CaO e MgO pelo método A

Para avaliação dos requisitos de exatidão e precisão, foram selecionadas três amostras de diferentes níveis de concentração na análise de cada óxido, tendo como referência para avaliação da exatidão os dados de composição química obtidos por fluorescência de raios-X. Nos testes de exatidão e precisão foram realizadas 12 réplicas para cada nível avaliado, divididas em dois dias e dois analistas. Os critérios de aceitabilidade do desvio padrão de repetibilidade e reprodutibilidade foram calculados por meio da equação de Horwitz (HORWITZ, 1982) e da exatidão foi a faixa de 80-110% (AOAC, 2012). O limite de detecção teórico foi estimado como 3 x desvio padrão de reprodutibilidade do menor nível avaliado e o limite de quantificação, como 10 x desvio padrão de reprodutibilidade do menor nível avaliado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método A, inicialmente aplicado nas amostras 1 e 2 (CAMILO et al., 2019) teve sua aplicação estendida as amostras 3-6 e os resultados de análise de K_2O , CaO e MgO totais estão apresentados na tabela 3. Além disso, como alternativa ao método em sistema aberto, também foi verificada a aplicação do método EPA 3052 na análise de remineralizadores. O órgão normalizador EPA apresenta como primeira sugestão de abertura total da amostra no método 3052 a combinação de ácidos 9 mL de HNO_3 + 3 mL de HF, a qual foi utilizada em testes iniciais. Os resultados (dados não reportados) mostraram que a extração de K_2O não foi completa em amostras com teor de K_2O acima de 10,0%. Por isso, foi testada uma combinação de ácidos com 9 mL de HNO_3 + 4 mL de HF (método B), com o intuito de aumentar a extração das amostras. Os resultados de aplicação desse método estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Comparação do desempenho entre os métodos de extração em sistema aberto (A) e método assistido por forno de micro-ondas EPA 3052 (B) na análise de K₂O, CaO e MgO em remineralizadores.

K ₂ O					
Amostras	Garantia* (%)	Método A		Método B	
		Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)	Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)
1	2,86	2,73 ± 0,04a	95,5	2,63 ± 0,30a	92,1
2	3,0	3,24 ± 0,11a	108,0	3,05 ± 0,06b	101,6
3	11,9	12,52 ± 0,37a	105,2	11,75 ± 0,25b	98,7
4	3,0	3,27 ± 0,07a	109,1	3,30 ± 0,07a	109,9
5	8,0	5,96 ± 0,32a	74,5	7,66 ± 0,29b	95,7
6	10,0	9,17 ± 1,17a	91,7	10,37 ± 0,58a	103,7
CaO					
Amostras	Garantia* (%)	Método A		Método B	
		Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)	Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)
1	13,58	13,44 ± 0,14a	96,6	13,20 ± 0,24a	97,2
2	1,8	1,70 ± 0,13a	94,3	1,79 ± 0,02a	99,6
3	2,0	1,64 ± 0,08a	81,8	1,61 ± 0,08a	80,7
4	4,11	3,38 ± 0,05a	82,2	3,49 ± 0,01a	85,0
5	1,58	1,47 ± 0,02a	92,8	1,30 ± 0,26a	82,1
MgO					
Amostras	Garantia* (%)	Método A		Método B	
		Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)	Média ± DP (%) (n = 3)	Recuperação (%)
1	7,29	7,06 ± 0,24a	96,9	7,07 ± 0,05a	97,0
2	4,3	4,43 ± 0,15a	103,0	4,29 ± 0,09a	99,8
3	0,285	0,27 ± 0,02a	94,7	0,27 ± 0,04a	93,5
4	4,94	4,28 ± 0,09a	86,6	4,37 ± 0,05a	88,5
5	0,22	0,29 ± 0,00a	102,3	0,20 ± 0,05b	90,3
6	3,0	2,90 ± 0,02a	96,8	2,83 ± 0,09a	94,2

*Dados obtidos por fluorescência de raio-X. DP: desvio-padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre os métodos para uma mesma amostra a nível de 5 % ($p < 0,05$) de probabilidade, segundo Teste de Tukey.

De modo geral, as recuperações apresentaram resultados satisfatórios em ambos os métodos, na faixa de 80,7%-109,9%. Especificamente a amostra de fonolito (5) apresentou uma recuperação abaixo de 80% para as análises de K₂O, indicando que testes adicionais necessitam ser realizados

para verificar se ocorreu uma falha pontual para essa amostra ou se o método precisa ser otimizado para uma extração total de amostras desse tipo.

A comparação das médias entre os métodos, para cada amostra pelo teste de Tukey, mostrou que não houve diferença significativa na análise de CaO e MgO, exceto para a amostra de fonolito (5) na análise de MgO. Já na análise de K₂O houve diferença significativa entre as médias obtidas para as amostras 2, 3 e 5. Esses resultados, no entanto, não tornam um método mais adequado que outro, visto que para ambos a recuperação está próxima de 100%.

Outras características observadas foram bom desempenho de digestão da amostra, para ambos os métodos, com mínima quantidade de amostra residual insolúvel nos vasos de extração, além de obtenção de extrato límpido. Vale ressaltar que, em ambos os métodos, devido ao uso de ácido fluorídrico, que é o ácido mais eficiente na abertura de matrizes silicatadas, é necessária a utilização de cadinhos resistentes a esse ácido, tais como teflon ou platina para abertura da amostra, o que pode exigir uma adaptação da rotina analítica para implantação dos dois métodos no escopo. Com relação aos custos de operação, o método em sistema aberto é uma opção mais barata por não necessitar do uso de forno de micro-ondas.

Testes posteriores serão realizados com aplicação dos dois métodos em maior gama de remineralizadores para verificar a aplicabilidade do método na análise desses nutrientes. Na verificação de desempenho das análises de K₂O, CaO e MgO pelo método A, foram avaliados os parâmetros de exatidão, precisão e estimados os limites de detecção (LD) e quantificação (LQ) do método, cujos resultados estão apresentados na tabela 4. Os valores de exatidão obtidos para as três bases foram considerados satisfatórios de acordo com a faixa de aceitabilidade (80 a 110%). A avaliação da precisão também mostrou um bom desempenho do método com os desvios padrão de repetibilidade (DPR_r) e reprodutibilidade (DPR_R) abaixo dos limites de Horwitz (DPR_r ≤ 3,8% e DPR_R ≤ 5,7%).

Tabela 4 – Resultados da validação das análises de K₂O, CaO e MgO totais pelo método A em remineralizadores.

Base	Concentração/Nível (%)	DPR _r (%)	DPR _R (%)	Exatidão (%)	LD (%)	LQ (%)	Incerteza (%)
K ₂ O	3,0	3,21	3,44	108,0	0,335	1,12	11,4
	11,9	1,01	2,94	105,2			
CaO	1,8	3,67	3,84	92,8	0,19	0,64	9,0
	4,11	3,04	3,99	85,3			
	13,58	2,62	2,53	96,6			
MgO	0,285	3,57	4,83	93,0	0,05	0,16	10,9
	4,30	2,02	2,16	100,5			
	7,29	0,99	0,95	97,1			

CONCLUSÕES

Os métodos normalizados de extração total por via úmida AOAC 965.09 item c e EPA 3052 na análise de K_2O , CaO e MgO em remineralizadores apresentaram bom desempenho, de modo geral, com recuperação entre 80,7%-109,9%, sem diferença significativa na recuperação de acordo com o teste de Tukey. De forma geral, ambos os métodos foram eficientes na análise total de K_2O , CaO e MgO em remineralizadores, com abertura completa da amostra, frente aos resultados obtidos por fluorescência de raios-X para as amostras estudadas, exceto para a amostra de fonolito (5), cuja recuperação de K_2O ficou abaixo de 80%. Até o momento, foi verificado o desempenho da análise de K_2O pelo método AOAC 965.09 item c, com avaliação dos itens de exatidão e precisão, com desempenho satisfatório e limites de detecção e quantificação do método estimados. Nos próximos trabalhos, será realizada a verificação de desempenho das análises de K_2O , CaO e MgO totais pelo método B, com avaliação dos parâmetros de precisão e exatidão e estimativa dos limites de detecção e quantificação. Além disso, os dois métodos serão aplicados em outros tipos diferentes de rochas silicatadas para estudo da abrangência de sua aplicação em diferentes tipos de rochas silicatadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC International., Official methods of analysis of AOAC International, in Guidelines for Standard Method Performance Requirements (Appendix F). Gaithersburg: AOAC International, 2012.
- BRASIL. Instrução Normativa nº 37, de 13 de outubro de 2017. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Diário Oficial da União, Seção 1, p. 5-6.
- BRASIL. Lei nº 12890, de 11 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília - DF, Seção 1, p. 1.
- CAMILO, Y. M. V. Estudo comparativo de métodos de extração de K_2O , CaO e MgO em remineralizadores de solo. 2019. 10 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Qualificação profissional em Agrokeologia. Centro de Desenvolvimento Tecnológico Mineral vinculado ao Instituto Tecnológico do Estado de Goiás Sebastião Siqueira. Goiânia, 2019.
- HORWITZ, W. Evaluation of analytical methods used for regulation of food and drugs. Analytical Chemistry, v. 54, p. 67A-76A, 1982.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KROMBERG, B. Rochagem: método de aumento de fertilidades em solos lixiviados e arenosos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, 1976, Belo Horizonte. Anais. SBG. p. 137-145.
- TORRERO, A. M. Otimização das condições de dissolução parcial de sedimentos em sistema fechado assistida por micro-ondas. 2017. 164 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

ATRIBUTOS QUÍMICOS DE SOLOS SUBMETIDOS AO USO DE REMINERALIZADOR SILICÁTICO

**HELEN ALVES LIMA^{1,2}, DANIELE OLIVEIRA CUNHA^{1,3} ERIKA OLIVEIRA DA SILVA FARIAS^{1,4},
JOÃO BATISTA PEREIRA LEMES^{1,5}, YURI CAIRES RAMOS^{1,6}, NIELSON MACHADO DOS SANTOS^{1,7}**

¹Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Rua Rui Barbosa, 710 – Centro, 44.380-000 Cruz das Almas, BA,
²helenalvesl@outlook.com; ³danieleocunha@outlook.com; ⁴erika_silva_farias@hotmail.com; ⁵jbplemes@gmail.com;
⁶cairesramos@ufrb.edu.br; ⁷nielsonmachado@ufrb.edu.br

Resumo: Diante da crescente necessidade de buscar fontes alternativas de fertilizantes para serem utilizados na produção agrícola, este trabalho propôs avaliar as alterações nos atributos químicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Amarelo Distrocoeso típico, que receberam aplicação de doses crescentes de remineralizador silicático, em um ensaio de incubação controlado, realizado na Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Os resultados obtidos, após 40 dias de incubação, mostraram que o uso de pó de rocha aumenta a fertilidade do solo, incrementando de forma linear os atributos pH, Ca, Mg, K, P, SB, CTC, V e reduz os teores de Al nos solos.

Palavras-chave: rochagem; manejo da fertilidade; pó de rocha;

INTRODUÇÃO

O aumento da população, no último século, levou a um aumento substancial na demanda por alimentos. As Nações Unidas projetam que a população mundial será de 9,7 bilhões, em 2050, 10,8 bilhões, em 2080 e 11,2 bilhões, em 2100. Em comparação com aproximadamente 7,3 bilhões de pessoas, em 2015, a população aumentará em cerca de 32%, 47% e 53%, nesses três períodos futuros, respectivamente (FAO, 2018). Este cenário provoca reflexão sobre qual será a agricultura do futuro, capaz de garantir segurança alimentar e nutricional ao mundo e, concomitantemente, adotar um manejo sustentável dos recursos naturais e da biodiversidade, incluindo as fontes, processos e estratégias de suprimento de nutrientes, principalmente, em solos tropicais.

O uso de pó de rocha granulítica como remineralizador de solo desponta como uma alternativa promissora, que permitiria ao Brasil diminuir a sua dependência externa de fertilizantes, trazendo benefícios produtivos e econômicos, o que favorece um melhor desempenho da balança comercial

(THEODORO, 2016). Vários trabalhos demonstram os benefícios da aplicação de pó de rocha como remineralizador de solos, melhorando suas condições, possibilitando o crescimento das plantas, com incrementos no pH do solo, CTC e nutrientes disponíveis, rochas granítica (SILVA et al., 2013), basálticas (RAMOS et al. 2014), fonólitos (TAVARES et al., 2018) e andesíticas (DALMORA et al. 2020). Em certos sistemas de cultivo, como o orgânico, o uso de fertilizantes químicos não é permitido (CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION, 2007), portanto, o suprimento de nutrientes se faz necessário a partir de uma fonte alternativa, como materiais orgânicos e rocha moída. Neste contexto, objetivou-se com a presente pesquisa avaliar a eficiência agrônômica do pó de rocha granulítica da Civil Industrial e Comercial Ltda. (Salvador, BA), como remineralizador de solos.

METODOLOGIA

Características do remineralizador

O remineralizador comercial, em teste no experimento (RMS-CP50), é proveniente da área de exploração da Pedreira Civil, em associação a Pedreira Parafuso, localizadas no Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB), recoberto por sedimentos da formação Barreiras. A composição química total dos elementos maiores na forma de óxidos, da amostra de RMS-CP50 estudada é a seguinte: SiO₂ 62,12; Al₂O₃ 14,44; Fe₂O₃ 6,48; CaO 5,67; MgO 3,54; Na₂O 3,63; K₂O 1,97; MnO 0,09; P₂O₅ 0,23 e TiO₂ 0,62.

Observa-se que o pó de rocha atende às garantias mínimas exigidas em relação à soma de bases (5,67% de CaO + 3,54% de MgO e 1,96% de K₂O), que deve ser maior ou igual a 9%, e ao teor de K₂O, que deve ser igual ou superior a 1%, de acordo com as recomendações da Instrução Normativa MAPA N° 5/2016 (BRASIL, 2016). Os estudos também constataram que a presença dos elementos potencialmente tóxicos: Arsênio (<1 mg.kg⁻¹); Cádmio (<1 mg.kg⁻¹); Chumbo (<1 mg.kg⁻¹) e Mercúrio (<0,1 mg.kg⁻¹) está em níveis bem abaixo dos níveis máximos estabelecidos pela IN N° 05/2016. O pH de abrasão é de 7,76, mostrando que o pó de granulito é alcalino. Isto se deve à hidrólise das bases presentes na amostra, a partir dos minerais silicáticos.

A partir da análise mineralógica por Difração de Raios-X, constatou-se que os minerais silicáticos, especialmente o oligoclásio (plagioclásio) 47,52%, o microclínio (feldspato-K) 6,88%, a biotita (mica escura) 4,49% e a actinolita (anfibiólio) 2,55%, compõem em torno de 75% do pó da rocha. Estes minerais silicáticos são os mais reativos e podem disponibilizar bases e silício, além de aumentar a capacidade de troca de cátions (GILLMAN, 1980). O teor de sílica livre (quartzo) foi de 16,34%, e está abaixo do limite máximo permitido pela IN 5/2016 do MAPA para remineralizadores de solos, que é de 25% do teor total da rocha.

A magnetita e o ulvoespínélio, que somam 3,01% da amostra, são minerais de ferro que apresentam baixa reatividade no solo, mas podem disponibilizar alguns elementos importantes,

como Co, Ni, Cr, V e Zn (SILLANPÄÄ, 1972). Todo o potássio está nas formas de microclíneo (feldspato-K), de biotita (mica escura) e de muscovita (mica branca), que apresentam potencial para liberar esse nutriente (STRAATEN, 2007).

O ensaio granulométrico mostrou que 99,71% em massa da amostra é passante na peneira de abertura 2,00 mm, 77,6% na peneira de abertura 0,84 mm e 55,6%, na peneira de abertura 0,3 mm (Tabela 5). Ou seja, este material blend é classificado como pó, de acordo com o MAPA (Anexo I da Instrução Normativa 5/2016).

Condução do experimento

O ensaio foi conduzido em ambiente controlado, no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, município de Cruz das Almas, Bahia. Os solos utilizados no experimento foram coletados da parte superficial (0,1-0,4 m) de um Neossolo Quartzarênico (RQ), textura arenosa, com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂)= 4,2; M.O (g dm⁻³)= 6,0; P (mg dm⁻³)= 1,3; K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e SB (cmol_c/dm⁻³) 0,09; 0,7; 0,2; 0,3; 1,9; 1,01, respectivamente; V (%) =35; e um Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAd), textura franco-argilo-arenosa/média: pH (CaCl₂)= 4,5; M.O (g dm⁻³)= 11,0; P (mg dm⁻³)=0,8; K, Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺, H+Al e SB (cmol_c/dm⁻³) 0,3; 1,6; 0,9; 0,0; 2,9; 2,86, respectivamente; V (%) =50, coletados no município de Saubara e Cruz das Almas, BA, respectivamente.

Cada unidade experimental foi constituída por um saco plástico de polietileno de 2 kg, preenchido com 1,0 kg do RQ ou LAd. As amostras de solos foram secas ao ar, destorroadas e passadas em peneira de 4 mm. Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, com seis tratamentos (doses do RMS-CP50) e quatro repetições, totalizando 24 unidades experimentais para cada solo avaliado. Os tratamentos foram constituídos de doses do RMS-CP50, aplicadas igualmente para ambos os solos, sendo: 0,0; 7,5; 15; 30; 60 e 120 t ha⁻¹. Após a adição das doses do RMS-CP50, as amostras dos solos foram homogeneizadas e acondicionadas em sacos plásticos por 40 dias. O teor de umidade foi mantido a 80% da sua capacidade de retenção de água, sendo realizadas pesagens semanais dos sacos e, posteriormente, a reposição com água deionizada. Ao final do período de incubação, as unidades experimentais foram secas e passadas em peneira, de 2 mm de abertura, para a posterior análise química do solo.

As análises químicas, realizadas nas amostras de solo de cada saco, seguiram os protocolos analíticos descritos em EMBRAPA (2017). O pH foi determinado em água; K⁺ e Na⁺, trocáveis por fotometria de emissão de chama, após extração com Mehlich⁻¹; Ca²⁺ e Mg²⁺, em solução Mehlich⁻¹, sendo quantificados por espectrometria de emissão atômica com plasma induzido por micro-ondas (MP-AES). Com esses resultados, foram calculadas a soma de bases (SB), a capacidade de troca de cátions (CTC) a pH 7,0 e a saturação por bases (V%). Fósforo disponível por espectrofotometria UV-Vis, após extração com Mehlich⁻¹. A acidez potencial (H⁺ + Al⁺³),

obtida com solução extratora de acetato de cálcio $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ pH 7,0, e depois determinada por titulometria, com NaOH $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. O alumínio trocável (Al^{+3}) foi extraído com KCl 1 mol L^{-1} e depois titulado com NaOH- $0,025 \text{ mol L}^{-1}$. Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), seguidos de estudos de regressão polinomial. A análise estatística foi realizada utilizando o programa estatístico Statistica 7.0 (STATSOFT, 2007).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para ambos os solos avaliados, a aplicação das doses do RMS-CP50 incrementou de forma linear os atributos pH, SB, CTC, V, P, Ca, Mg, K e Na, e reduziu os teores de Al trocável e acidez potencial do solo (Tabela 1), quando comparado à caracterização química do solo antes da instalação do experimento.

O aumento das doses do produto promoveu crescimento linear nos valores do pH, variando de 4,9 – 6,85, no RQ, e 5,07 – 5,97 no LAd, entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente (Tabela 1). Esse aumento nos valores do pH dos solos evidencia o efeito corretivo do RMS-CP50. O aumento do pH, até a faixa de 6,0 – 7,0, é extremamente benéfico para as plantas, pois aumenta a disponibilidade dos nutrientes. No LAd, observou-se uma pequena variação nos valores de pH, possivelmente relacionado ao maior poder tampão, ou seja, à maior resistência à variação do pH. Costa et al. (2014), avaliando atributos do solo que mais eficientemente fossem relacionados ao aumento da produtividade de laranja, observaram que, em condições ótimas de pH do solo, poder-se-ia obter incremento de $7,58 \text{ t ha}^{-1}$ na produtividade de frutos. Vários trabalhos têm demonstrado o efeito corretivo da acidez do solo, após aplicação de pó de rochas (SILVA et al. 2012; SILVA et al. 2013; LUO et al. 2019).

O teor de Al apresentou redução linear para ambos os solos, conforme houve acréscimo das doses do RMS-CP50 (Tabela 1). Esse comportamento é muito positivo agronomicamente, visto que o alumínio é altamente tóxico para as culturas agrícolas, por ocasionar danos ao meristema apical da raiz e, conseqüentemente, reduzindo o sistema radicular, tornando a planta mais suscetível ao estresse hídrico e à deficiência nutricional.

Houve aumento linear para a soma de bases (SB), nos dois solos analisados (Tabela 1), sendo que, no RQ, os valores variaram de 0,6 a $2,46 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (Figura 3), e no LAd a variação foi de 3,18 a $5,49 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$, entre as doses 0,0 e $120,0 \text{ t ha}^{-1}$. O aumento nos valores da SB se deve, principalmente, ao aumento nos teores de Ca, Mg e K no solo. O aumento nos valores da SB promoveu elevação dos valores da capacidade de troca catiônica ($\text{CTC} = \text{SB} + \text{H} + \text{Al}$) nos dois solos, com valores variando de 3,40 a $3,56 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no RQ e 7,51 a $8,68 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no LAd (Figura 3), entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente.

Conseqüentemente, em decorrência dos aumentos lineares da SB e CTC, verificou-se aumento linear para a saturação por bases (V%) para ambos os solos, com valores variando de 17,63 – 69,22% no RQ e 42,35 – 63,21 %, no LAd entre as doses 0,0 e 120,0 t ha⁻¹, respectivamente (Tabela 1).

Os teores de Ca aumentaram, linearmente, em função das doses do RMS-CP50 aplicadas nos dois solos. Com isso, pôde-se verificar uma variação de 0,28 a 1,73 cmol_c dm⁻³ no RQ e de 1,99 a 3,11 cmol_c dm⁻³ no LAd (Tabela 1). Com a aplicação de 120 t ha⁻¹ do remineralizador no RQ, houve um incremento, em relação à testemunha, de 581,16 kg ha⁻¹ de Ca. Para o LAd, o incremento foi de 448,90 kg ha⁻¹ de Ca. Lopes et al. (2014) observaram o aumento do teor de Ca em dois tipos de solos, após aplicação de pó de basalto.

Com o aumento das doses do RMS-CP50, observou-se aumento linear nos teores de K, em ambos os solos (Tabela 1), com teores variando de 0,06 a 0,11 cmol_c dm⁻³ e 0,3 a 0,36 cmol_c dm⁻³. Com a aplicação de 120 t ha⁻¹ do pó de rocha, houve incrementos, em relação à testemunha, de 39,10 e 46,92 kg ha⁻¹ de K, no RQ e LAd, respectivamente. Rosa-Magri et al. (2012), utilizando pó de rocha alcalina ultramáfica, na presença de levedura *Torulaspota globosa*, observaram liberação de 38% do K presente na rocha, em um período de incubação de 15 dias.

Os teores de Mg aumentaram de forma linear, quando se elevaram as doses do RMS-CP50 nos dois solos (Tabela 1). Os teores desse elemento no solo variaram de 0,23 a 0,57 cmol_c dm⁻³ no RQ e de 0,81 a 0,93 cmol_c dm⁻³ no LAd. Essa variação corresponde a um incremento, em relação à testemunha, de 82,66 e 29,18 kg ha⁻¹ de Mg no RQ e LAd, respectivamente, com a aplicação de 120 t ha⁻¹ do pó de rocha. A aplicação de pó de basalto, em Latossolo Vermelho Distroférrico argiloso, resultou em aumento linear no incremento de 5,73 mmol_c dm⁻³ no teor de Mg, no período de incubação de 90 dias (ALOVISI et al., 2020).

Os teores de P aumentaram de forma linear, em função da aplicação do RMS-C50 nos dois solos, aumentando 2760% (1,16 – 33,18 mg dm⁻³) no RQ e 1269% (0,97 – 13,28 mg dm⁻³) entre as doses 0,0 e 120,0 t ha⁻¹ (Tabela 1). O aumento dos teores de fósforo é decorrente do aumento do pH. O fósforo tem uma maior disponibilidade na faixa de pH entre 6,0 – 7,0, pois em valores de pH menores que estes, o fósforo está fixado por ferro e alumínio e, em valores maiores, acima está fixado por cálcio (BARROW, 2017). Tito et al. (2019), avaliando o efeito do pó de rochas MB4[®] sobre características químicas do solo e sobre a produção de rabanete (*Raphanus sativus*), observaram aumento no teor de P no solo, na ordem de 2002,7% da testemunha (2,99 mg kg⁻¹), até a maior dose, que fez atingir o fósforo a 62,87 mg kg⁻¹.

Tabela 1- Atributos químicos obtidos no Neossolo Quartzarênio (RQ) e Latossolo Amarelo Distrocoeso típico (LAd), após 40 dias de incubação do pó de rocha granulítica. ** e * - Significativo a 1% e 5% de probabilidade, respectivamente.

Atributos	Neossolo Quartzarênico						Regressão das doses	R ²
	Doses (t ha ⁻¹)							
	0	7,5	15	30	60	120		
pH	4,9	5,02	5,2	5,47	5,92	6,85	Y= 4,93 + 0,0161x	0,99**
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	2,8	2,48	2,42	2,31	1,59	1,09	Y= 2,65 - 0,0138x	0,95**
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,27	0,17	0,12	0,07	0	0	Y= 0,183 - 0,0014x	0,67**
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,28	0,40	0,43	0,67	1,17	1,73	Y= 0,301 + 0,0124x	0,98*
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,23	0,29	0,33	0,36	0,49	0,57	Y= 0,272 + 0,0027x	0,92**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,06	0,062	0,067	0,072	0,092	0,117	Y= 0,059 + 0,0004x	0,99**
SB (cmol _c dm ⁻³)	0,6	0,78	0,85	1,14	1,8	2,46	Y= 0,663 + 0,0157x	0,98**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	3,4	3,26	3,27	3,45	3,39	3,56	Y= 3,31 + 0,0018x	0,60**
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	Y= 0,029 + 0,0001x	0,95**
V (%)	17,63	23,93	26,13	32,99	53,01	69,22	Y= 20,35 + 0,4336x	0,97**
P (mg dm ⁻³)	1,16	3,38	6,34	9,22	19,07	33,18	Y= 1,70 + 0,2673x	0,99**
	Latosolo Amarelo Distrocoeso típico							
pH	5,07	5,15	5,22	5,47	5,75	5,97	Y= 5,14 + 0,0076x	0,92**
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	4,33	3,88	4,01	3,79	3,74	3,19	Y= 4,12 - 0,0077x	0,87**
Al ³⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,1	0,12	0,07	0,07	0,02	0	Y= 0,103 - 0,0007x	0,85**
Ca ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	1,99	2,17	2,37	2,39	2,91	3,11	Y= 2,14 + 0,0090x	0,89*
Mg ²⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,81	0,86	0,89	0,88	0,93	0,93	Y= 0,855 + 0,0008x	0,68**
K ⁺ (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,3	0,28	0,31	0,36	0,36	Y= 0,299 + 0,0006x	0,75**
SB (cmol _c dm ⁻³)	3,18	3,42	3,62	3,67	4,29	5,49	Y= 3,229 + 0,0185x	0,99**
CTC (cmol _c dm ⁻³)	7,51	7,3	7,63	7,47	8,03	8,68	Y= 7,35 + 0,0108x	0,92**
Na (cmol _c dm ⁻³)	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,09	Y= 0,069 + 0,0001x	0,98**
V (%)	42,35	46,83	47,40	49,13	53,42	63,21	Y= 44,26 + 0,1583x	0,98**
P (mg dm ⁻³)	0,97	2,56	3,69	6,23	10,27	13,28	Y= 2,21 + 0,1020x	0,93**

CONCLUSÕES

Os efeitos das doses de RMS-CP50 foram significativos para ambos os solos, demonstrando que o uso do pó de rocha granulítica, como remineralizador de solo, é tecnicamente viável, sendo efetivo na melhoria da sua fertilidade. A aplicação de doses do remineralizador incrementou os atributos pH, Ca, Mg, K, P, SB, CTC e V, e reduziu os teores de Al e acidez potencial em ambos os solos, durante a incubação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOVISI, Alessandra Mayumi Tokura et al. ROCHAGEM COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL PARA A FERTILIZAÇÃO DE SOLOS. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, v. 9, p. 918-932, 2020.
- BARROW, N. J. The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant and soil*, v. 410, n. 1-2, p. 401-410, 2017.
- CODEX ALIMENTARIUS COMMISSION; JOINT FAO/WHO FOOD STANDARDS PROGRAMME; WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Codex alimentarius commission: procedural manual*. Food & Agriculture Org., 2007.
- COSTA, Nídia Raquel et al. Produtividade de laranja correlacionada com atributos químicos do solo visando a zonas específicas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 44, n. 4, p. 391-398, 2014.
- DALMORA, Adilson Celimar et al. Application of andesite rock as a clean source of fertilizer for eucalyptus crop: Evidence of sustainability. *Journal of Cleaner Production*, v. 256, p. 120432, 2020.
- EMBRAPA. *Manual de métodos de análise de solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solos, Rio de Janeiro, Embrapa. 3. ed, 2017.
- FAO. *The future of food and agriculture – Alternative pathways to 2050*. Rome. 224 pp. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 2018.
- GILLMAN, Gavin Patrick; UEHARA, Goro. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: II. Experimental. *Soil Science Society of America Journal*, v. 44, n. 2, p. 252-255, 1980.
- LOPES, Otavio Mitsuhiro Motizuki; CARRILHO, Elma Neide Vasconcelos Martins; LOPES-ASSAD, Maria Leonor Ribeiro Casimiro. 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.
- LUO, Xian et al. The Passivation Effect on Cd of Mixing of Hyperaccumulated Plant Straw and Phosphate Rock Powder in Cd Polluted Soil. In: *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2019. p. 01109.
- RAIJ, B. Van et al. *Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo*. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. 285p.
- RAIJ, B. Van et al. *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- RAMOS, Claudete Gindri; DE MELLO, Andréia Gislaïne; KAUTZMANN, Rubens Müller. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, v. 1, p. 30-35, 2014.
- ROSA-MAGRI, Márcia Maria et al. Release of potassium from rock powder by the yeast *Torulaspora globosa*. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 55, n. 4, p. 577-582, 2012.
- SILLANPÄÄ, M. Distribution of trace elements in peat profiles. *Proc. 4th Int. Peat Congr*, v. 2, p. 222-228, 1972.
- SILVA, Douglas Ramos Guelfi et al. Characterization and nutrient release from silicate rocks and influence on chemical changes in soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 36, n. 3, p. 951-962, 2012.
- SILVA, Benita et al. Effect of the addition of granitic powder to an acidic soil from Galicia (NW Spain) in comparison with lime. *Environmental earth sciences*, v. 68, n. 2, p. 429-437, 2013.
- STATSOFT, I.N.C. *STATISTICA (data analysis software system)*. Version, v.7. 2007. <www.statsoft.com>
- STRAATEN, Peter van. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Ontario, CA: Enviroquest, 2007.

- TAVARES, Laene de Fátima et al. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, v. 7, n. 2, p. 89-98, 2018.
- THEODORO, S. H. A construção do marco legal dos remineralizadores in: Congresso Brasileiro de Rochagem (3.: 2016: Pelotas, RS). *Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, 8 a 11 de novembro de 2016* / Editores: Adilson Luis Bamberg... et. al. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 2016.
- TITO, Gilvanise Alves et al. Efeito do vermicomposto enriquecido com pó de rochas na química do solo e cultura de rabanete. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 14, n. 4, p. 506-511, 2019.

INTERFERÊNCIAS NA DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE TROCA DE CÁTIOS EM SOLOS REMINERALIZADOS

ROSECLÊNIA ALVES SANTOS¹; RENATA ALCARDE SERMARINI²; ANTONIO CARLOS DE AZEVEDO³

¹ Doutoranda – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (Universidade Federal Rural de Pernambuco – Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52171-900). roseclenia.alves@gmail.com

² Professora Doutora – Departamento de Ciências Exatas (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo – Avenida Páduas Dias, 11, São Dimas, Piracicaba-SP, 13418-900). ralcarde@usp.br

³ Professor Associado – Departamento de Ciência do Solo (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo – Avenida Páduas Dias, 11, São Dimas, Piracicaba-SP, 13418-900). azevedo@usp.br

Resumo:

É necessário compreender como a presença de remineralizador no solo pode interferir no resultado das análises de rotina, como na capacidade de troca de cátions (CTC). Os remineralizadores podem aumentar, verdadeiramente, a CTC, mas, também, pode ser gerado por artefatos metodológicos que inflam erroneamente os valores obtidos. Objetivou-se testar essa hipótese. A CTC foi determinada pelos métodos: Resina, Extrator KCl, Troca Compulsiva e Adsorção de Césio. A massa do remineralizador possui 55% , na fração <0,2 mm, 41% , na fração 0,2 - 1,0 mm, e 4% , na fração > 1,0 mm. As amostras testadas foram coletadas em dois experimentos (E1 e E2). No E1, coletou-se após 180 dias da aplicação de 16 Mg ha⁻¹ e no E2, após sete anos da aplicação de 4,5 Mg ha⁻¹. Em ambos, houve aumento nos teores de cálcio, magnésio e soma de bases (SB) determinados pela resina, mas aumento na CTC só foi observado no E1, apenas por essa metodologia. Esse método superestima a CTC de solo remineralizado, por desenvolvimento de artefato metodológico, durante o procedimento analítico. Íons adsorvidos às partículas do remineralizador ou solubilizados dele, durante a análise, são erroneamente contabilizados como adsorvidos às cargas do solo, resultando em aumento na CTC.

Palavras-chave: CTC; atributos químicos; cargas elétricas; pó de rocha; agrominerais

INTRODUÇÃO

O uso de remineralizadores de solo está regulamentado por Legislação Federal, desde 2013 (Brasil - Lei 12.890 de Dezembro de 2013; Brasil - IN 05 de Março de 2016). Embora a Lei tenha sido sancionada recentemente, a prática da rochagem não é recente. Entretanto, nas duas últimas

décadas, o uso de pó de rocha no solo intensificou-se. A eficiência agronômica desses insumos depende de fatores intrínsecos ao próprio material, ao solo, ao ambiente e ao manejo adotado (MARTINS et al., 2010; MANNING et al., 2017; SILVA et al., 2017).

Os efeitos da aplicação de pó de rocha têm sido avaliados em relação às propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. No entanto, a partir de uma perspectiva agronômica, o maior interesse se dá no aumento dos teores disponíveis de nutrientes no solo, sendo comum observar aumento no cálcio, magnésio, zinco, cobre, ferro e elevação do pH (MELO et al., 2012; LOPES et al., 2013). Paralelamente, os teores disponíveis de cátions no solo são utilizados para a estimativa da capacidade de troca de cátions - CTC (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998; GILLMAN et al., 2001; RESENDE et al., 2006; SILVA et al., 2017).

O aumento da CTC em solos remineralizados pode ser atribuído, teoricamente, a vários mecanismos, que podem ocorrer paralela ou isoladamente, como formação de novas fases secundárias (por neogênese ou alteração); desenvolvimento de cargas na superfície dos grãos que estão sendo intemperizados, devido à dissolução incongruentes dos silicatos; aumento de pH, entre outros (DIXON; WEED, 1989). Estudos relacionados à contribuição de frações grosseiras (>2 mm) para os atributos químicos do solo são poucos, pois estas frações são considerados inertes, devido à sua pequena superfície específica (ASE). Entretanto, características importantes como retenção de água, porosidade, CTC, além da reserva de nutrientes, já foram atribuídas a essas frações (UGOLINI et al., 1996). Soares et al. (2005) destacaram que partículas não coloidais podem contribuir com propriedades eletroquímicas do solo, demonstrando que a fração grosseira de solos derivados de rochas, com feldspatos e micas, apresentaram capacidade de troca de cátions.

Contudo, a quantificação de cargas elétricas de superfícies no solo é complexa e pode variar significativamente, em função do método empregado. Em decorrência, métodos de rotina, geralmente, estão fundamentados na estimativa da CTC com base na quantidade de cátions trocáveis, assumindo-se que eles estão ligados às cargas na superfícies das partículas. Assim, estimam a CTC pelo somatório desses cátions (RAIJ et al., 2001; TEIXEIRA et al., 2017). Já outras metodologias determinam a CTC por meio de cátions índices (GILLMAN, 1979; ANDERSON; SPOSITO, 1991). Ainda, alguns métodos estimam a CTC ao pH do meio, enquanto outros, o fazem através do tamponamento do pH em valores específicos.

Dada a importância da CTC para o comportamento dos solos e os relatos de seu aumento em solos remineralizados, é importante compreender os mecanismos que podem estar envolvidos nesses resultados. Assim, objetivou-se com esse trabalho investigar a possibilidade de que, para algumas metodologias, o aumento na CTC do solo pelo uso de remineralizador, ou pó de rocha, poderia ser decorrente de um artefato metodológico, durante o procedimento analítico.

MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado nos experimentos foi um condicionador de solo, resultado da mistura de rochas, registrado junto ao Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) como silicato de magnésio e comercialmente utilizado, no país, há várias décadas. Este material atende aos requisitos para registro como remineralizador, se assim fosse requerido. Por isso, neste trabalho, optamos por denominá-lo de remineralizador, embora esse material esteja registrado em outra categoria no MAPA.

A granulometria do remineralizador foi realizada por peneiramento a seco, tomando como referência os limites de classe dentro da fração areia. É composta por 4% em massa de fração areia muito grossa (2,0 – 1,0 mm); 19% de areia grossa (1,0 – 0,5 mm); 22% de areia média (0,5 – 0,21 mm); 24% de areia fina (0,21 – 0,105 mm) e 31% de areia muito fina (< 0,105 mm). Os principais minerais identificados pela difratometria de raios x (DRX), em amostras de pó, foram: muscovita, talco, quartzo, anfibólio, dolomita e feldspato.

Foram coletadas amostras de solos de dois experimentos que usaram o mesmo remineralizador, na região Agreste de Alagoas. No experimento 1 (E1), doses crescentes (0; 2; 4; 8 e 16 Mg ha⁻¹) foram aplicadas em um Latossolo Vermelho (textura média) sob manejo agroecológico e cultivado com hortaliças. Esse experimento foi desenvolvido em delineamento em blocos casualizados, com 5 repetições, e as avaliações foram realizadas após 180 dias da aplicação do remineralizador, na camada de 0-0,1 m, aplicado em área total. No experimento 2 (E2), também foram aplicadas doses crescentes do material, em um Neossolo Quartzarênico (textura arenosa), sob manejo convencional e cultivado com cana de açúcar. Nesse experimento, coletaram-se amostras apenas das parcelas controles e das parcelas que receberam a maior dose (4,5 Mg ha⁻¹). As amostras foram coletadas após sete anos, desde a aplicação do remineralizador, com o objetivo de verificar o efeito residual. A camada amostrada foi de 0,2-0,4 m, pois nesse experimento o remineralizador foi aplicado no fundo do sulco de plantio com profundidade de 0,3 m.

Nos solos dos dois experimentos foram realizadas análises dos principais atributos químicos, determinados com a metodologia proposta por Raij et al. (2001). Nos resultados, são apresentados apenas os dados de cátions trocáveis (Ca²⁺; Mg²⁺; K⁺ e Al³⁺), soma de bases (SB) e capacidade de troca de cátions (CTC), quando significativos pelo teste F, com 5% de probabilidade.

Nos dois experimentos, também foi determinada a CTC do solo, por diferentes métodos, com o propósito de testar a possibilidade de aumento de CTC ser decorrente de um artefato metodológico. Os métodos foram separados em dois grupos, denominados como métodos indiretos: a resina trocadora de íons, descrita em Raij et al. (2001); e o método da troca compulsiva (Gillman, 1979), descrito em Camargo et al. (2009); e métodos diretos: o método do extrator KCl 1 mol L⁻¹, descrito em Teixeira et al. (2017), e a metodologia da adsorção de céscio - Cs (Anderson e Sposito, 1991), descrita em Webe et al. (2005).

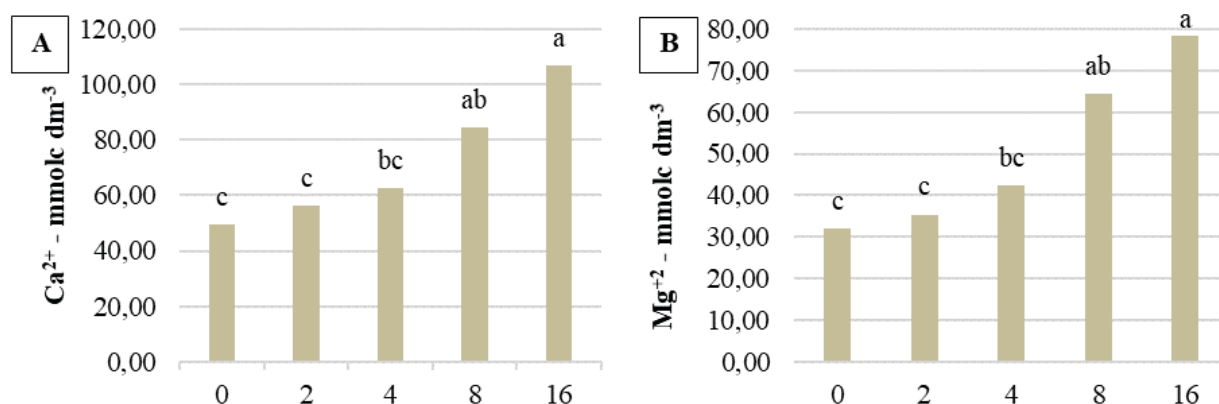
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análises de rotina

Os principais atributos químicos do solo foram avaliados, de acordo com Raji et al. (2001), como análise de rotina, metodologia amplamente utilizada no Estado de São Paulo. No E1, o efeito significativo ($p < 0,05$), após 180 dias da aplicação de doses crescentes do remineralizador, foi verificado para os teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) disponíveis do solo, para SB e CTC. A partir da aplicação de 8 Mg ha^{-1} , houve aumento significativos nos teores de Ca e Mg, sendo os maiores incrementos de $57,2$ e $46,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente, proporcionados pela dose de 16 Mg ha^{-1} (Figura 1 A e B). Aumentos nos teores de Ca e Mg, elevação do pH e da CTC do solo, após aplicação de pós de rocha, têm sido comumente relatados (ESCOSTEGUY; KLAMT, 1998; GILLMAN et al., 2001; RESENDE et al., 2006; MELO et al., 2012; LOPES et al., 2013; SILVA et al., 2017).

É possível que o incremento nos teores de Ca e Mg seja decorrente da dissolução direta dos minerais do remineralizador, principalmente, daqueles facilmente intemperizáveis e que contêm tais elementos (dolomita, talco e feldspato). Entretanto, considerando-se que todo Ca e Mg contido no remineralizador seja solubilizado, e que 1 ha até a profundidade de $0,1 \text{ m}$, com densidade do solo de 1 Mg m^{-3} possui 10^6 dm^3 , haveria no máximo aumento de $0,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Ca e $2,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de Mg (dados da composição química total, não apresentados). Contudo o que se observou foram aumentos bem superiores.

Este aumento nos teores de Ca e Mg propagou-se para as estimativas de SB e CTC, proporcionalmente (Figura 1 C e D), pois esses elementos foram os principais componentes desses atributos. Na dose de 16 Mg ha^{-1} , a contribuição de Ca e Mg, na SB, chegou a $99,0\%$ e na CTC, representou 95% , causando aumento de $103,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a SB e $102,8 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para a CTC.



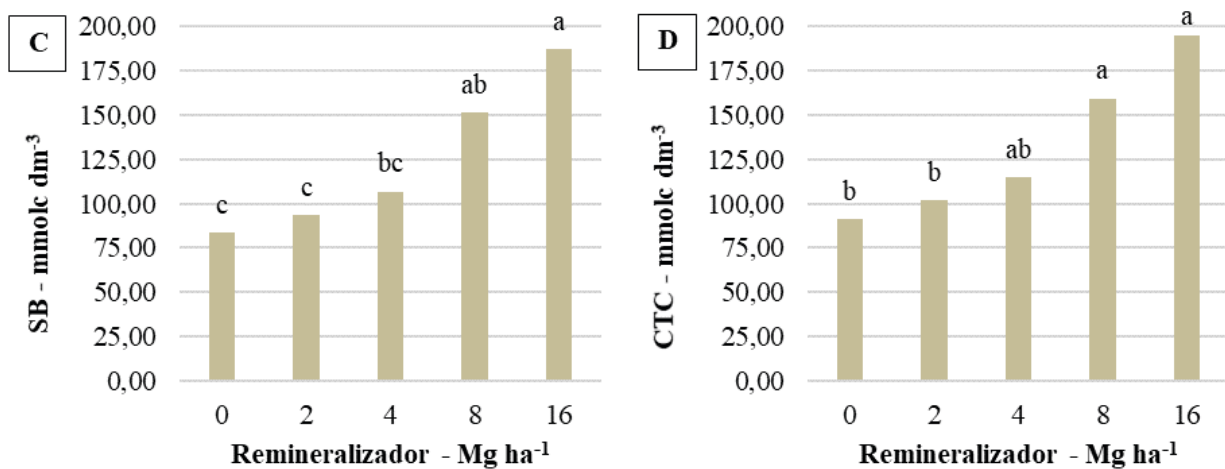


Figura 1. Médias de (A) cálcio - Ca²⁺ e (B) magnésio - Mg²⁺ disponível no solo, (C) soma de base - SB e (D) capacidade de troca de cátions - CTC, após 180 dias da aplicação de remineralizador.

No E2, mesmo com menor dose (4,5 Mg ha⁻¹) e maior tempo no solo (7 anos, aproximadamente 2.500 dias), houve efeito significativo ($p < 0,05$) nos teores de Ca e Mg disponíveis, SB e Al trocável. Ao contrário do solo anterior, não se observou efeito na CTC. A aplicação do remineralizador promoveu incremento de duas vezes nos teores de Ca e Mg disponíveis no solo, o mesmo foi observado para a SB. Efeito inverso foi observado para o Al trocável, que foi reduzido pela metade com a aplicação do remineralizador (Tabela 1). A falta de efeito sobre a CTC desse solo, mesmo com o aumento na SB, pode ser explicada pela influência dos teores de Al³⁺, que também contribui na estimativa da CTC. Redução de 5,4 mmol_c dm⁻³ no Al trocável foi relatada por Melo et al. (2012), entretanto, com uma dose de 96 Mg ha⁻¹ de basalto, após seis meses de incubação.

Tabela 1 - Médias de cálcio (Ca), magnésio (Mg), soma de bases (SB), alumínio trocável (Al) e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, após sete anos da aplicação do remineralizador.

Atributo (mmol _c dm ⁻³)	Remineralizador (Mg ha ⁻¹)	
	0,0	4,5
Ca	7,25 b	14,8 a
Mg	2,25 b	6,2 a
SB	10,5 b	21,9 a
Al	2,8 a	1,2 b
CTC	25,3 a	34,7 a

Determinação da CTC

A determinação da CTC do solo, através de todos os métodos propostos, foi realizada apenas nas amostras coletadas nas parcelas com as maiores doses (16 e 4,5 Mg ha⁻¹ no E1 e no E2, respectivamente) e nas parcelas controles. No E1, houve efeito significativo do remineralizador na CTC, para todos os métodos, exceto do extrator KCl. Entretanto, em todos os métodos houve diminuição da CTC pela aplicação do remineralizador, exceto para o método da resina, onde houve aumento. Para o E2, não houve efeito significativo em nenhum dos métodos (Tabela 2).

A amostra do E1 apresentou CTC de duas a três vezes maior, quando determinada pela resina, em relação às demais metodologias, que apresentaram valores semelhantes entre si. O método da resina baseia-se no equilíbrio químico entre os sítios de troca do solo, da resina e a solução aquosa, e, assim, não utiliza extratores ácidos para deslocar os íons adsorvidos nas cargas do solo. Entretanto, após o equilíbrio ser alcançado, a resina é recuperada da suspensão por peneiramento, em malha de 0,4 mm. Em seguida, os íons adsorvidos à resina são recuperados com solução ácida (HCl 0,2 mol L⁻¹) e, posteriormente, determinados. No caso presente, o remineralizador têm 23% de sua massa composta por frações maiores que 0,5 mm (frações areia grossa e areia muito grossa, ver materiais e métodos). Estas frações e, também, parte da fração areia média (0,5 – 0,21 mm), ficaram retidas junto com a resina, após a recuperação por peneiramento. Assim, íons adsorvidos ao remineralizador e, principalmente, aqueles solubilizados a partir dele, foram computados como oriundos da adsorção promovida pela resina, inflando os valores de CTC do solo, estimados pela soma de cátions.

Portanto, a utilização de métodos que envolvem uso de ácidos, durante alguma etapa de determinação da CTC em solos remineralizados, deve ser bastante criteriosa, sendo essencial o conhecimento dos minerais que o compõem.

Tabela 2 - Capacidade de troca de cátions (CTC) do solo, após aplicação do remineralizador por diferentes metodologias.

RM Mg ha ⁻¹	Metodologias para determinar a CTC (mmol _c dm ⁻³)			
	¹ Resina	² Extrator KCl	³ Troca Compulsiva	⁴ Adsorção de Cs
Após 180 dias da aplicação				
0,0	80,0 b	56,7 a	68,0 a	60,3 a
16,0	168,8 a	57,0 a	65,0 b	53,6 b
Após 7 anos da aplicação				
0,0	13,3 a	11,7 a	45,5 a	11,2 a
4,5	13,8 a	13,9 a	45,7 a	10,1 a

RM = remineralizador. ¹Rajj et al. (2001). ²Teixeira et al. (2017). ³Gillman (1979). ⁴Anderson e Sposito (1991). Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No E2, além do solo ter recebido uma dose menor do remineralizador ($4,5 \text{ Mg ha}^{-1}$), ao longo dos sete anos, ocorreu a intemperização dos grãos minerais, que pode ter diminuído seu tamanho, além do esgotamento dos cátions básicos em suas formas mais solúveis. Dessa forma, a interferência promovida pela presença de partículas do remineralizador, durante o procedimento de análise do solo, não foi significativa.

No E1, a CTC determinada pelos métodos diretos (troca compulsiva e adsorção de Cs) apresentou valores inferiores, nas parcelas remineralizadas (Tabela 2). Esta diferença foi bem menor (da ordem de -10%) que aquela observada nos valores pelo método da resina (da ordem de 100% maior), talvez, apenas por um efeito de diluição do solo pelo remineralizador. A CTC determinada pelo extrator KCl, em ambos os solos, não apresentou efeito significativo da aplicação do remineralizador. Por utilizar um sal neutro como extrator, este método oferece uma possibilidade bem menor de dissolução mineral durante a determinação, mas inviabiliza a determinação de K no extrato. Como vantagem adicional, utiliza equipamentos e reagentes de pequeno custo.

Através do método da adsorção de Cs, é possível avaliar a natureza permanentes e/ou variáveis das cargas do solo. Este método tem sido realizado em nível de pesquisa, em solos tropicais brasileiros, apresentando valores satisfatórios (Webe et al., 2005; Cunha et al., 2014). Este método também não usa ácidos e poderia ser adotado para avaliação em solos remineralizados, porém, é demorado, trabalhoso e faz uso de reagentes de grande custo, portanto, inadequado para laboratórios de rotina.

O método da troca compulsiva promove a saturação das cargas do solo com o íon Ba^{2+} , e posterior troca com o Mg^{2+} , que é medido em solução e, então, determinado como CTC. Essa determinação é feita ao pH do solo e em concentrações eletrolíticas próximas as encontradas em campo, por isso, tem sido um método recomendado (Summer e Miller, 1996; Fauziah et al., 1997). No solo E1, os valores de CTC observados ao utilizar este método foram muito semelhantes àqueles em que foi utilizado o extrator KCl, e aos da adsorção de Cs. Porém, nas amostras do E2, verificou-se que o método da troca compulsiva determinou valores de CTC até quatro vezes superior aos demais. Este resultado deve estar associado ao relato de Gillman e Sumpter (1986), no qual reportam que, em solos tropicais úmidos, a adição do SO_4^{2-} (adicionado como sulfato de magnésio para promover a troca de Ba^{2+} por Mg^{2+}) pode aumentar substancialmente o pH da solução e, conseqüentemente, as cargas negativas do solo, sobretudo, em solos ácidos, com predominância de cargas variáveis (caso do solo do E2). Este mecanismo poderia explicar estes resultados observados, ou seja, valores superiores para a CTC determinada pela troca compulsiva no solo do E2. O fato dos valores de CTC total [$\text{SB} + (\text{H} + \text{Al})$] encontrados pelo uso dos métodos da resina e do extrator KCl terem sido semelhantes aos valores de CTC determinados pela troca compulsiva, corroboram este raciocínio. Mais uma vez, fica evidente que para realizar interpretações mais corretas acerca do efeito do remineralizador, sob a CTC do solo, é essencial considerar-se tanto as características do material quanto dos métodos analíticos usados para avaliar este atributo do solo.

CONCLUSÕES

Aumento na CTC do solo promovido pela aplicação de remineralizador só foi observado quando foi utilizado o método da resina trocadora de íons, com valores de duas a três vezes superiores aos demais métodos. Este método superestimou a CTC de solo, provavelmente, por incluir grãos de remineralizador em uma etapa na qual apenas material de solo deveria permanecer na reação. O método da troca compulsiva também superestimou o valor da CTC, provavelmente, devido à alteração do pH da suspensão. O método do extrator KCl apresentou-se consistente nos resultados, em todas as amostras analisadas, é fácil, rápido e de pequeno custo, porém, não permite a determinação dos valores de K trocável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSON, S.J., SPOSITO, G. Cesium adsorption methods for measuring accessible structural surface charge. Soil Science Society of America Journal, Madison. 1991.
- BRASIL. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Altera a Lei nº 6.894, de 16 de dezembro de 1980, para incluir os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília-DF. Seção 1 – 11 de Dez. de 2013, 1p. (Publicação Original).
- BRASIL. Instrução Normativa nº 5, 10 de Março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília-DF. Seção 1 - 14 de Mar. De 2016. Nº 49, p.10.
- CAMARGO, O.A. DE, MONIZ, A.C., JORGE, J.A., VALADARES, J.M.A.S. Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas (ed. rev.). Campinas-SP: Instituto Agronômico (Boletim Técnico 106). 77p, 2009.
- CUNHA, J.C., RUIZ, H.A., FREIRE, M.B.G DOS S., ALVAREZ V., V.H., FERNANDES, R.B.A. Quantification of permanent and variable charges in reference soils of the state of Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2014.
- DIXON, J.B., WEED, S.B. Minerals in soil environments (2ed.) Madison: Soil Science Society of America Published, 1989
- ESCOSTEGUY, P.A.V., KLAMT, E. 1998. Basalto moído como fonte de nutrientes. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 1998.
- FAUZIAH, C.I., JAMILAH, I., SYED OMAR, S.R. An evaluation of cation exchange capacity methods for acid tropical soils. Pertanika Journal of Tropical Agricultural Science. 1997.
- GILLMAN, G.P. A proposed method for the measurement of exchange properties of highly weathered soils. Australian Journal Soil Research. 1979.
- GILLMAN, G.P., SUMPTER, E.A. Modification to the compulsive exchange method for measuring exchange characteristics of soils. Australian Journal of Soil Research. 1986.
- GILLMAN, G.P., BURKETT, D.C., COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly weathered soils: effect on soil cation chemistry. Australian Journal of Soil Research. 2001.

- LOPES, O.M.M., COSTA, L.G., LOPES-ASSAD, M.L. Solubilização de pó de basalto por meio de vinhaça: variação de pH e nutrientes disponíveis. Engenharia Ambiental. 2013.
- MANNING, D.A.C., BAPTISTA, J., LIMON, M.S., BRANDT, K. Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. Science of the Total Environment. 2017.
- MARTINS, E.S., RESENDE, A.V., OLIVEIRA, C.G., FURTINI NETO, A.E. Materiais Silicáticos como Fontes Regionais de Nutrientes e Condicionadores de Solos. In: FERNANDES, FR.C., LUZ, A.B. DA, CASTILHOS, Z.C. Agrominerais para o Brasil (1ed.). Rio de Janeiro, RJ: CETEM. 1, 89-104. 2010.
- 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. 2012.
- RAIJ, B. VAN, ANDRADE, J.C., CANTARELLA, H., QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agronômico. 2001.
- RESENDE, A.V., MACHADO, C.T., MARTINS, E.S., SENA, M.C., NASCIMENTO, M.T., SILVA, L.C.R., LINHARES, N.W. Rochas como fontes de potássio e outros nutrientes para culturas anuais. Espaço & Geografia. 2006
- SILVA, R.C., CURY, M.E., IEDA, J.J.C., SERMARINI, R.A., AZEVEDO, A.C. Chemical attributes of a remineralized Oxisol. Ciência Rural. 2017.
- SOARES, M.R., ALLEONI, L.R.F., VIDAL-TORRADO, P., COOPER, M. Mineralogy and ion exchange properties of the particle size fractions of some Brazilian soils in tropical humid areas. Geoderma. 2005.
- SUMMER, M.E., MILLER, W.P. Cation Exchange Capacity and Exchange coefficient. pp 1201-1229. In: Sparks, D.L. (Ed) Methods of soil analysis, SSSA, Madison-USA. 1996.
- TEIXEIRA, P.C.; DONAGEMMA, G.K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W.G. Manual de métodos de análise de solo. 3 ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- UGOLINI, F.C., CORTI, C., AGNELLI, A., PICCARDI, F. Mineralogical, physical and chemical properties of rock fragments in the soil. Soil Science. 1996.
- WEBE, O.L.S., CHITOLINA, J.C., CAMARGO, O.A., ALLEONI, L.R.F. Método da adsorção de cézio para determinação da carga estrutural em solos altamente intemperizados. Revista Brasileira de Ciência do Solo. 2005.

MAPEAMENTO DA DISSOLUÇÃO DE GRÃOS MINERAIS EM SOLOS POR ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA (EDS)

JEAN BRAGA¹ ANTONIO CARLOS DE AZEVEDO²

^{1,2} Universidade de São Paulo (USP); Avenida Pádua Dias, 11. Bairro Agronomia, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, jbraga@usp.br, aazevedo@usp.br

Resumo

A espacialização das áreas de dissolução preferencial, nos grãos dos pós de rocha, possui grande potencial, tanto para o entendimento do seu mecanismo de ação no solo, quanto para a criação de tecnologias de cominuição que permitam maior controle das taxas de dissolução dos grãos de rochas no solo. Neste trabalho, apresentamos os avanços no desenvolvimento da metodologia que permite a aplicação de um ou poucos grãos de rocha ao solo, e sua recuperação, após o tempo de reação. Neste método, é possível mapear os elementos exatamente no mesmo local, antes e depois de sua permanência no solo, na rizosfera, em vaso ou em qualquer outro tipo de meio. É possível, através da microscopia eletrônica de varredura, com espectroscopia de raios-x de energia dispersiva (EDS), semi-quantificar os elementos presentes na superfície do grão, antes e depois do experimento. Os resultados mostram que a mesma posição dos grãos foi recuperada e lida por SEM/EDS, após doze semanas em meio reativo, com resultados positivos para os grãos de rocha utilizados, mas não para os de feldspato potássico. Cálcio e sódio, além de cloro e alumínio, apresentaram uma diminuição considerada significativa pelo teste de sinal, em suas leituras após o tempo em meio reativo.

Palavras-chave: Intemperismo; SEM; Pó de rocha;

INTRODUÇÃO

Estima-se que a população mundial passará de 9 bilhões de pessoas, em 2050. Um dos maiores desafios que surgirá deste crescimento é a segurança alimentar da população (MANNING, 2015). A crescente demanda por alimento, pelo aumento de áreas produtivas e por necessidades nutricionais dos solos de áreas agrícolas exige a busca por formas alternativas de nutrição

do solo, visto que os fertilizantes solúveis podem ser caros e, em certos casos, inacessíveis a pequenos produtores (MANNING; THEODORO, 2018).

No Brasil, a demanda por maior produção de alimentos, nas próximas décadas, trará como consequência o aumento das áreas de cultivo e de pasto, causando competição por mais espaço para as suas culturas (CERRI et al., 2009). Entre as alternativas para compor a solução deste problema temos a recuperação de áreas degradadas, assim como o melhoramento do manejo da pastagem, que pode servir para evitar a expansão para novas áreas, evitando o desmatamento e reduzindo emissões de gases do efeito estufa (MAZZETTO et al., 2015). Neste aspecto, o pó de rocha pode ser uma importante ferramenta, melhorando as condições do solo, auxiliando a sua recuperação e, conseqüentemente, aumentando a produtividade.

Um dos desafios relacionados à pesquisa com pó de rocha é a compreensão da dissolução do material em um sistema complexo. Apesar de ser bem compreendida em laboratório, para minerais puros (BRANTLEY; WHITE; KUBICKI, 2008; FISCHER; ARVIDSON; LÜTTGE, 2012; ZHANG et al., 2018), as reações de dissolução do pó de rocha em sistemas complexos de solo ainda não são bem entendidas (SVERDRUP, 2009; VAN STRAATEN, 2006). A dificuldade em modelar tais taxas se provou um grande desafio, devido à complexidade do sistema solo. Isto leva a uma dificuldade em avaliar materiais a fim de recomendação para uso agrícola.

Técnicas de espectroscopia e raios-x, utilizadas em análises mineralógicas (REED, 2005), podem, no entanto, auxiliar na determinação de taxas de dissolução de materiais rochosos aplicados ao solo, o que pode ser comparado, posteriormente, com modelos de dissolução mineral pré-existentes. A microscopia eletrônica de varredura com espectroscopia de raios-x de energia dispersiva (SEM/EDS), apesar de considerada uma análise qualitativa, também pode ser utilizada como análise quantitativa, sob as condições apropriadas (NEWBURY; RITCHIE, 2013).

O objetivo deste trabalho foi estabelecer e avaliar uma metodologia de fixação de grãos minerais e de rocha, e sua leitura por (SEM/EDS), antes e depois de sua inserção em meio reativo, recuperando a mesma posição lida anteriormente. Através do mapeamento da composição química na superfície dos grãos, pode-se avaliar se os resultados obtidos são representativos da dissolução do material.

MATERIAIS E MÉTODOS

Três rochas moídas, um fonolito, um basalto e um granito foram dispostas em colunas de lixiviação preenchidas com solo. Colunas de PVC, com 30 cm de altura e 7,5 cm de diâmetro foram preenchidas com 1Kg de material de solo, coletado na camada superficial 0-20 cm de um Argissolo textura média, coletado em São José do Rio Pardo/SP, e 8g de um fonolito, ou de um basalto ou de um granito moídos, equivalente a 21 t ha⁻¹. As colunas foram lixiviadas com água

deionizada, ou solução de ácido cítrico 0,01M, ou solução de ácido málico 0,01M, perfazendo 12 tratamentos, com 4 repetições. As lixiviações ocorreram semanalmente, durante 12 semanas.

O pó de rocha utilizado foi dividido em 4g de fração areia muito fina (0,10 mm - 0,05 mm), 2g de fração areia média (0,5 mm - 0,25 mm) e 2g de fração areia muito grossa (2 mm - 1 mm). Doze (12) grãos de um cristal de feldspato potássico moído e três (3) grãos de cada uma das rochas, de tamanho da fração areia grossa (0,6-2 mm), foram fixados em placas de resina epóxi e utilizados para mapeamento elementar da superfície (Figura 1), por espectroscopia de energia dispersiva (EDS). Antes de cada imageamento, as superfícies foram lavadas com solução pH 8 de bicarbonato de cálcio e, posteriormente, com água deionizada, para remover impurezas. O microscópio eletrônico de varredura (JSM IT-300 InTouchScope™, Jeol) utilizou um feixe de elétrons a 20 keV e aumento de x330, para os grãos de feldspato, e x200, para os grãos de rocha. Os elementos analisados nos grãos de feldspato foram: O, Na, Mg, Al, Si, P, K, Ca, Mn, Fe; e nos grãos de rocha: O, Na, Mg, Al, Si, P, S, Cl, K, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe.

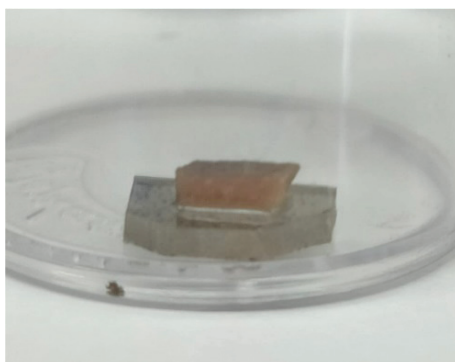


Figura 1 - Exemplo de grão fixado em placa de resina.

Imagens da superfície dos grãos foram produzidas antes e após à imersão nas colunas, por 12 semanas. O posicionamento da amostra no interior da câmara do microscópio e as coordenadas da superfície foram tomadas de modo a poder mapear a mesma superfície, antes e após a exposição nas colunas. Os resultados, em porcentagem de massa de cada elemento analisado, foram obtidos através do software AZtecLive® - Oxford Instruments. Estes resultados foram submetidos a um teste de sinal (SIEGEL; CASTELLAN JÚNIOR, 2006), no qual os dados obtidos para os grãos de feldspato e de rocha foram separados e analisados entre si. Todas as leituras para um certo elemento foram agrupadas em “Antes” e “Depois”, e comparadas, observando se houve diferença significativa entre os resultados. Medidas de elementos diferentes não foram comparadas entre si.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química total das rochas estão na tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Química total do pó de rocha aplicado às colunas/grãos de rocha avaliados por (SEM/EDS).

Elementos	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO	LOI	Total
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
Fonolito	56.4	20.9	3.87	1.76	0.32	6.74	8.05	0.01	0.59	0.25	0.07	0.18	0.01	2.83	101.98
Basalto	50.6	12.15	15.1	7.59	3.82	2.66	1.5	<0.01	3.74	0.21	0.61	0.06	0.06	1.45	99.55
Granito	76.7	13.8	1.14	0.43	<0.01	4.68	3.87	<0.01	0.02	0.16	<0.01	<0.01	<0.01	0.51	101.31

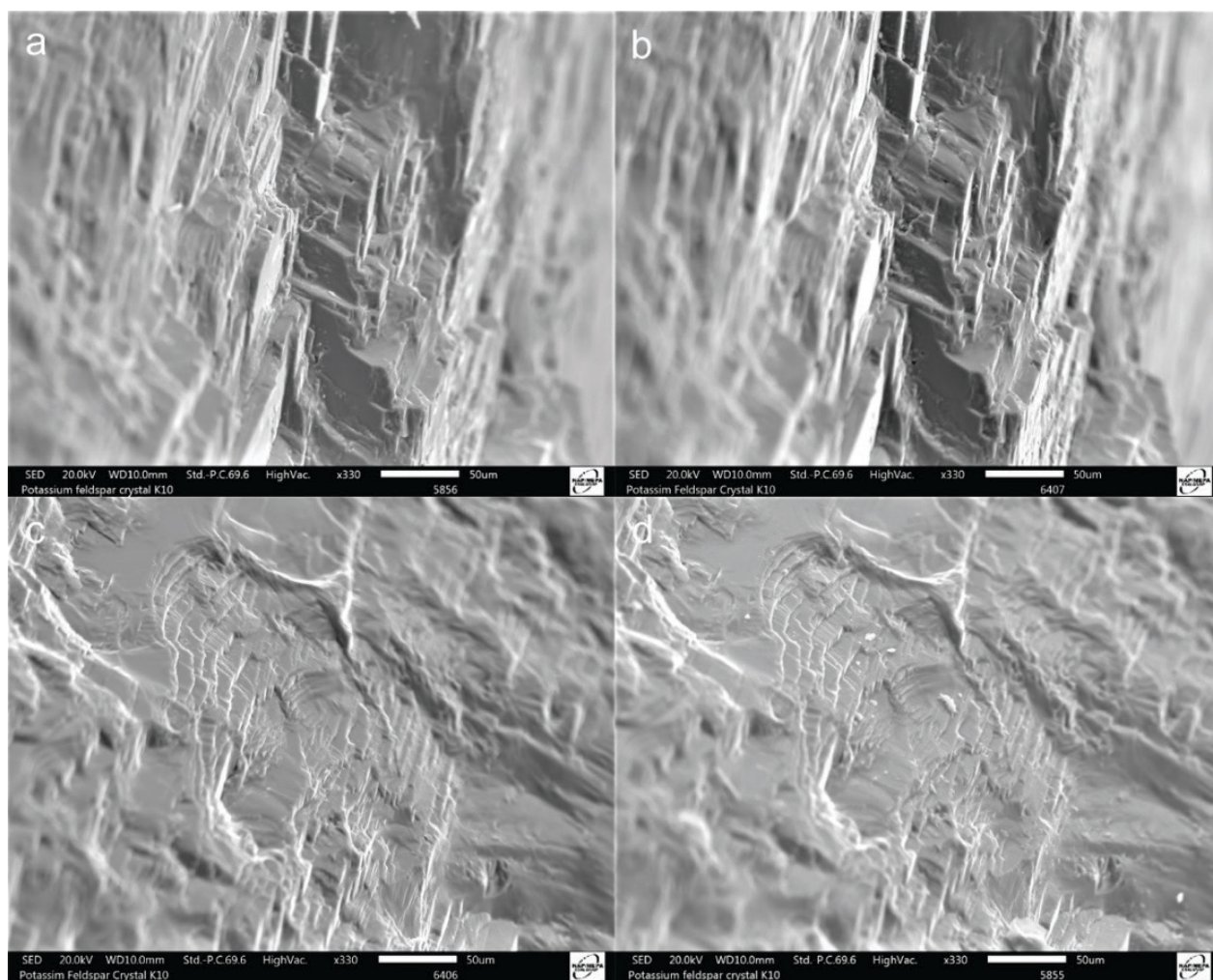


Figura 2 - Exemplo de Imagens de microscópio eletrônico de varredura para grãos de feldspato potássico. Figuras A e C representam os grãos antes da reação. Figuras B e D são imagens capturadas após o tempo inserido em meio reativo.

O período de exposição das superfícies à dissolução nas colunas não foi suficiente para causar modificação topográfica perceptível nas superfícies, como ilustrado pela figura 2.

O teste de sinal realizado, comparando as respostas para cada elemento, mostra que, no caso do feldspato, apenas Fe e Al registraram diferenças significativas (Tabela 2).

Tabela 2 e 3 – Teste de sinal (SIEGEL; CASTELLAN JÚNIOR, 2006) realizado para os grãos de feldspato potássico (Tabela 2, esq.) e rochas (Tabela 3, dir.). Significativo: p-value < 0,05.

Variáveis	p-value	Resultados
O	0.4545	Não rejeita H_0
Na	0.3018	Não rejeita H_0
Mg	0.2891	Não rejeita H_0
Al	0.004181	Rejeita H_0
Si	0.3018	Não rejeita H_0
P	0.2266	Não rejeita H_0
K	0.8036	Não rejeita H_0
Ca	1	Não rejeita H_0
Mn	0.3877	Não rejeita H_0
Fe	0.02127	Rejeita H_0
O	0.7744	Não rejeita H_0
Na	0.006348	Rejeita H_0
Mg	0.2266	Não rejeita H_0
Al	0.0004883	Rejeita H_0
Si	1	Não rejeita H_0
P	0.146	Não rejeita H_0
S	0.06543	Não rejeita H_0
Cl	0.01172	Rejeita H_0
K	0.06543	Não rejeita H_0
Ca	0.0004883	Rejeita H_0
Ti	0.5488	Não rejeita H_0
Cr	1	Não rejeita H_0
Mn	1	Não rejeita H_0
Fe	1	Não rejeita H_0

Além da verificação de diferença significativa entre o “Antes” e o “Depois”, também foi verificado se as leituras de “Depois” apresentam valores menores do que as de “Antes”. Isto não ocorre para os grãos de feldspato potássico.

Como mostra a figura abaixo, a diferença significativa pode não estar associada à perda do elemento, visto que se dá pelo aumento do conteúdo relativo (isto é, provavelmente em função da perda de outros elementos) de ferro e alumínio registrado pelo EDS.

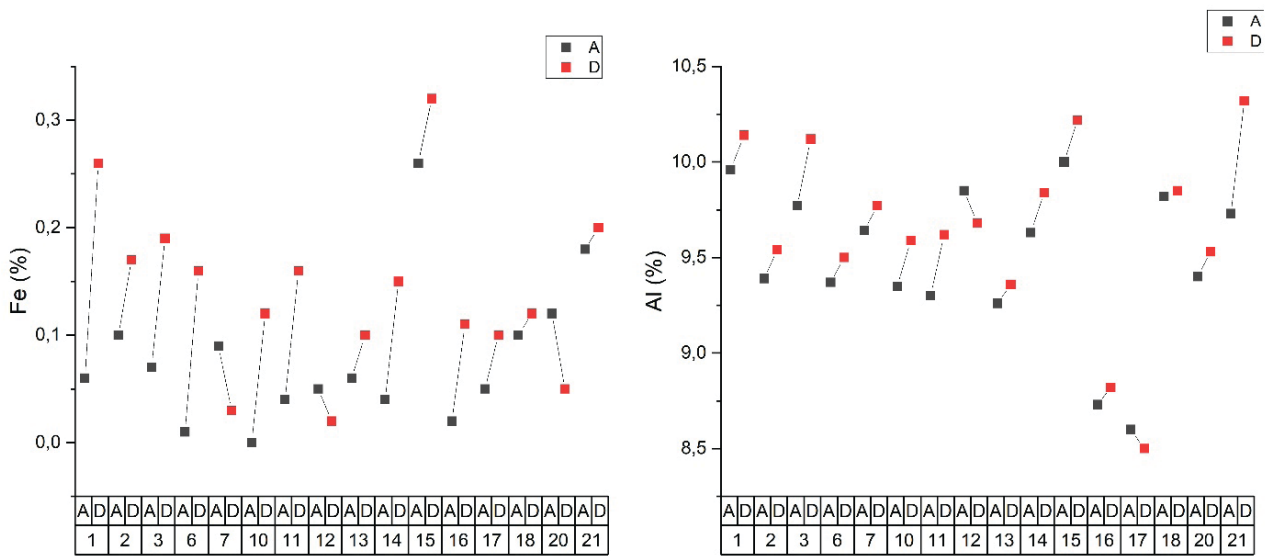


Figura 3 – Leituras de ferro e alumínio antes da reação (A) e depois da reação (D) para os grãos de feldspato.

Tal aumento também pode estar relacionado à precipitação de fases amorfas de ferro e alumínio no solo, durante todo o período de lixiviação, na superfície do grão.

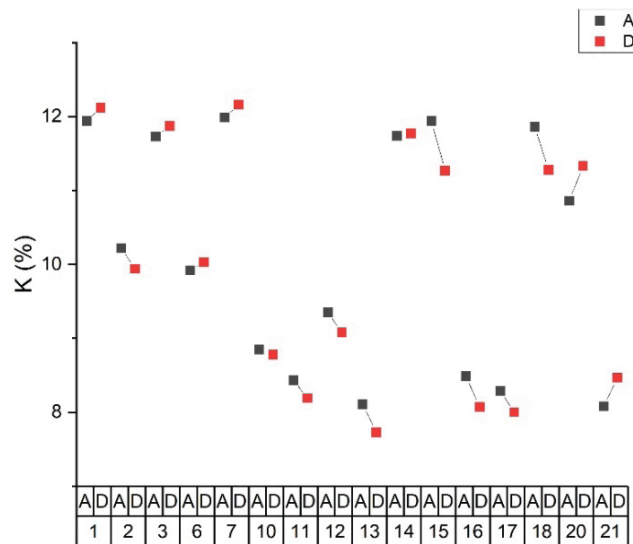


Figura 4 - Leitura de potássio antes e depois da reação para os grãos de feldspato.

O potássio não apresenta uma tendência clara de diminuição do seu teor, detectado pelo EDS, na superfície do cristal. O feldspato potássico não é considerado um mineral de grande solubilidade

(MANNING, 2010). As bandas sódicas observadas nos feldspatos não geraram impacto significativo na liberação de sódio de sua estrutura.

Já os grãos de rocha apresentaram respostas diferentes, evidenciadas pelo teste de sinal realizado (Tabela 3).

No caso, se tratando de grãos de três diferentes rochas, com um leque maior de minerais reagindo na superfície, Na, Al, Cl e Ca apresentaram diferenças significativas.

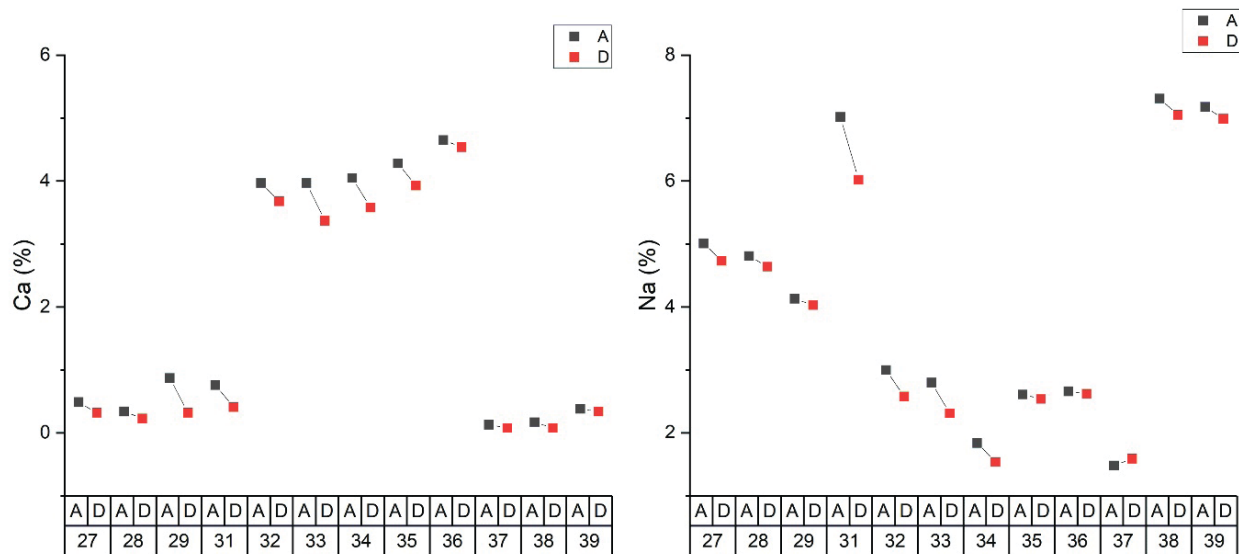


Figura 5 - Leituras de cálcio e sódio antes (A) e depois (D). As amostras 27 a 31 representam os grãos de fonolito, 32 a 36 o basalto e 37 a 39 os grãos de granito.

Cálcio e sódio, elementos comuns na assembleia mineralógica das rochas utilizadas, apresentaram uma clara tendência de diminuição dos teores nas leituras, feitas após o tempo de reação, sugerindo que a metodologia é sensível para detectar alterações na composição química da superfície dos minerais.

Estes resultados exploratórios são referências para novos trabalhos, para os quais sugere-se: utilização de sensores WDS, uso de feixes de elétrons menos energéticos, possibilitando análises de volumes mais restritos à superfície do grão, e maior tempo de exposição do grão ao meio intempérico.

CONCLUSÕES

A metodologia de fixação dos grãos com resina, para análise da mesma face, se provou eficiente, apesar das condições experimentais não produzirem diferenças contrastantes,

face à sensibilidade do microscópio. Os resultados obtidos com as rochas confirmam a maior solubilidade de Ca e Na, como proposto na Série de Polinov, por exemplo. Os resultados também ressaltam a variação da solubilização de elementos na superfície exposta do grão e, por consequência, a dificuldade de estabelecer modelos mecanísticos de dissolução de grãos de rocha no ambiente do solo, para fins de recomendação e manejo agrônômico da remineralização de solo.

BIBLIOGRAFIA

- BRANTLEY, S. L.; WHITE, A. F.; KUBICKI, J. D. **Kinetics of water-rock interaction**. [s.l.] Springer, 2008.
- CERRI, C. C. et al. Brazilian Greenhouse Gas Emissions: The importance of agriculture and Livestock. **Scientia Agricola**, v. 66, n. 6, p. 831–843, 2009.
- FISCHER, C.; ARVIDSON, R. S.; LÜTTGE, A. How predictable are dissolution rates of crystalline material? **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 2012.
- MANNING, D. A. C. Mineral sources of potassium for plant nutrition . A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, p. 281–294, 2010.
- MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14–17, fev. 2015.
- MANNING, D. A. C.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. **Extractive Industries and Society**, n. June, p. 1–8, 2018.
- MAZZETTO, A. M. et al. Improved pasture and herd management to reduce greenhouse gas emissions from a Brazilian beef production system. **Livestock Science**, v. 175, p. 101–112, 2015.
- NEWBURY, D. E.; RITCHIE, N. W. M. Is Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-ray Spectrometry (SEM/EDS) Quantitative? **Scanning**, v. 35, n. 3, p. 141–168, 2013.
- REED, S. J. B. **Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology**. 2. ed. [s.l.] Cambridge University Press, 2005.
- SIEGEL, S.; CASTELLAN JÚNIOR, N. Estatística não-paramétrica para ciências do comportamento. In: **Métodos de Pesquisa**. [s.l.: s.n.].
- SVERDRUP, H. **Chemical weathering of soil minerals and the role of biological processes** **Fungal Biology Reviews**, 2009.
- VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 74, n. 4, 2006.
- ZHANG, G. et al. Review and outlook for agromineral research in agriculture and climate mitigation. **Soil Research**, v. 56, n. 2, p. 113–122, 2018.

AVALIAÇÃO DE DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES APÓS APLICAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA EM SOLO ARENOSO

OLAVO DA COSTA LEITE¹, GILBERTO COUTINHO MACHADO FILHO^{1*}, JOÃO VICTOR GONÇALVES CARLINE¹, SAULO DE OLIVEIRA LIMA¹, MANOEL MOTA DOS SANTOS¹

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT) Endereço(s) (Chácara 69-72 Rua Badejos, Lote 7 s/n – CEP: 77404-970, Jardim Sevilha, Gurupi - TO, www.uft.edu.br)

*Autor correspondente: coutinhoagro@hotmail.com

Resumo:

O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da adição de rocha fosfática na disponibilidade de nutrientes, em solo de textura arenosa. O experimento foi realizado na Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 7 tratamentos (testemunha; testemunha com aplicação de calcário; 150 kg de P_2O_5 ha⁻¹, via MAP; 1 tonelada de rocha fosfática; 2 toneladas de rochas fosfáticas; 3 toneladas de rochas fosfáticas e 4 toneladas de rochas fosfáticas) e três repetições. A rocha fosfática utilizada foi extraída e moída em Taipas do Tocantins /TO. O solo utilizado foi coletado em área de vegetação nativa, em camada de 0 a 20 cm de profundidade, classificado como Neossolo Quartzarênico, com classificação textural arenosa. Aos 90 dias após a incubação, foram analisadas as seguintes características: pH, Fósforo resina, Cálcio, Magnésio, Potássio e Silício. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e à comparação de médias. Conforme os resultados obtidos aos 90 dias após a incubação, a aplicação de rocha fosfática apresentou aumento significativo na disponibilidade fósforo da solução do solo, com valores crescentes a partir de 1 tonelada ha⁻¹. O valor de pH e a disponibilidade de cálcio apresentaram maiores valores médios com a adição de 4 toneladas de rocha fosfática ha⁻¹. Os tratamentos não apresentaram diferença significativa na disponibilidade de potássio e silício. A rocha fosfática estudada disponibiliza P e Ca, quando aplicada em solo de textura arenosa.

Palavras-chave: rochagem; fertilidade do solo; remineralizador

INTRODUÇÃO

O uso de rochas moídas é considerado uma alternativa ao mercado de fertilizantes, focado em produtos químicos formulados e com alta solubilidade. Atualmente, no Brasil, em razão do

menor custo apresentado por unidade de P_2O_5 , vem se verificando o aumento em sua utilização de fosfatos naturais de origem sedimentar, como remineralizador, áreas de produção de grão, café, frutas, pastagens e cana-de-açúcar, na maioria das situações, com eficiência similar às fontes solúveis convencionais.

As rochas fosfatadas de sedimentar apresentam maior reatividade, ou seja, maior eficiência agrônômica, se comparadas às rochas de origem ígnea (FERREIRA et al., 2008; GHOLIZADEH et al., 2009). Além da origem de formação, existem diferenças relevantes entre rochas fosfáticas, principalmente, quanto às concentrações de P_2O_5 , CaO, MgO, K_2O e SiO_2 , o que possibilita a comercialização de alguns tipos, como insumos agrícolas, como faz a empresa Rialma Fertilizantes, em Taipas do Tocantins -TO.

Apesar dos indicativos de que remineralizador de rocha fosfática pode ser aplicado diretamente ao solo como fertilizante, ainda existem poucos trabalhos relacionados à eficiência agrônômica, principalmente em condições de campo. Assim, objetivou-se avaliar o efeito da adição de rocha fosfática na disponibilidade de nutrientes, em solo de textura arenosa.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado na Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com 7 tratamentos (T0= testemunha sem adição; T1= apenas aplicação de calcário; T2= calcário + 150 kg de P_2O_5 ha^{-1} via MAP; T3= Calcário + 1 tonelada de rocha fosfática; T4= Calcário + 2 toneladas de rochas fosfáticas; T5= Calcário + 3 toneladas de rochas fosfáticas e T6= Calcário + 4 toneladas de rochas fosfáticas) e três repetições. A aplicação de calcário foi de 4,1 toneladas ha^{-1} , conforme recomendação baseada em prévia análise química e física do solo estudado.

A rocha fosfática utilizada foi extraída e moída em Taipas do Tocantins - TO, apresenta as seguintes características: granulometria de 100% passante em 2 mm, 77% passante em 0,3 mm e 45% passante em 0,075 mm, e as seguintes características químicas conforme a tabela 1.

Tabela 1 – Composição química do material geológico.

Rochas	Macronutrientes					Micronutrientes			EPT			
	CaO	MgO	P_2O_5	K_2O	SiO_2	Mn	Cu	Zn	As	Hg	Cd	Pb
 %ppm						
Rocha Fosfática	12,14%	1,72	9,30	2,57		0,10	29	61	11	<LQ	<LQ	27

O solo utilizado foi coletado no município de Peixe – TO, em área de vegetação nativa do bioma cerrado, em camada de 0 a 20 cm de profundidade, classificado como Neossolo Quartzarênico, com classificação textural arenosa.

As amostras foram secas ao ar, peneiradas em 2 mm, sendo realizada pesagem e separação em unidades experimentais de 0,5 dm⁻³. Em seguida, realizou-se a aplicação dos tratamentos e os mesmos permaneceram incubados pelo período de 90 dias. Ao longo do período de incubação, as amostras foram mantidas úmidas, com água destilada mantendo-se a 70% da capacidade de campo. Aos 90 dias após a incubação, foram analisadas as seguintes características: pH, Fósforo resina, Cálcio, Magnésio, Potássio e Silício. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e a comparação de médias foi feita pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da análise de variância realizada para as características químicas, encontram-se resumidos na Tabela 2, onde são apresentados os valores de F para as causas de variação e sua interação, e o desdobramento dos graus de liberdade. Houve efeito significativo para a maioria das características avaliadas, exceto para K e Si.

Tabela 2- Resumo da análise de variância e coeficiente de variação para pH, P, Ca, Mg, K e Si em incubação de doses de rocha fosfática, em solo arenoso em Gurupi - TO, 2019.

FV	GL	Quadrado Médio					
		pH	P	K	Si	Ca	Mg
Doses	6	0,108**	440,553**	6,779 ^{ns}	1,123 ^{ns}	2,198**	0,977**
Resíduo	14	0,029	17,526	5,922	0,749	0,091	0,039
Média		6,07	21,03	19,35	7,93	2,26	1,54
CV %		2,83	19,90	12,57	10,91	13,36	12,92

^{ns} = não significativo; * = significativo pelo teste F a 5%, ** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Analisando a característica pH (Tabela 3), foi possível observar que houve diferença significativa entre os tratamentos, havendo distinção apenas entre T6 em relação a T0 e T1. Isso demonstra o efeito positivo do fosfato associado ao calcário, na elevação do pH do solo, além disso, a maior disponibilidade de P ocorre na faixa considerada ideal para a maioria das culturas, que situa entre 5,5 e 6,5 (SBCS, 2016).

Conforme os resultados obtidos aos 90 dias após a incubação, a aplicação de rocha fosfática apresentou aumento significativo na disponibilidade de fósforo da solução do solo, com valores crescentes a partir de 1 tonelada ha⁻¹, sendo o maior valor obtido com dose de 4 toneladas ha⁻¹, 38 mg.dm⁻³. Os resultados obtidos demonstram um aumento expressivo de P no solo, em virtude das doses de fosfato aplicadas, com um acréscimo de 24,54 mg dm⁻³ (175,40 %) em relação a T3 e a T6. Levando em consideração o acréscimo ocorrido entre T0 (Controle) e T6 (4 ton de fosfato), nota-se um aumento de 32,12 mg dm⁻³, ou seja, 501,09%.

A partir de 2 toneladas, o teor disponível de P no solo atinge o valor mínimo adequado para cultivos agrícolas, cujos níveis adequados de disponibilidade de P, pelo extrator resina, situam-se entre 15 e 20 mg.dm⁻³, e a rocha fosfática apresenta potencial de suprimento nutricional de P para a maioria das culturas agrícolas (SOUSA et al., 2016). Silveira (2016), em experimentos utilizando rocha fosfatada, observou aumento significativo na disponibilidade de fósforo. O acréscimo de P em mg dm⁻³ no solo, em função das doses aplicadas, demonstra a alta solubilidade do fosfato estudado, sendo esperado, com o passar do tempo de incubação, um aumento ainda mais expressivo desses teores na solução do solo.

Tabela 2. Avaliação de pH do solo e disponibilidade de pH, P melich, P, K, Si, Ca e Mg em solo de textura arenosa, aos 90 dias após a incubação de rocha fosfática em Gurupi – TO, 2019.

Tratamento	pH	mg.dm ³			cmol.dm ⁻³	
		P	K	Si	Ca	Mg
T0	4,32 c	6,41 d	17,42 a	7,19 a	0,53 c	0,29 b
T1	6,08 b	6,52 d	18,63 a	7,67 a	2,37 b	1,79 a
T2	6,30 ab	20,76 bc	21,36 a	8,59 a	2,34 b	1,78 a
T3	6,29 ab	13,99 cd	20,35 a	8,11 a	2,20 b	1,59 a
T4	6,38 ab	21,66 bc	20,90 a	8,74 a	2,43 b	1,65 a
T5	6,51 ab	31,48 ab	18,20 a	8,02 a	2,64 ab	1,64 a
T6	6,63 a	38,53 a	18,62 a	7,22 a	3,36 a	2,03 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, não diferem estatisticamente, entre si, pelo teste Tukey ($p > 0,05$).

A aplicação de doses crescentes de rocha fosfática não apresentou aumento da disponibilidade de K e Si, na solução do solo. Possivelmente, esse resultado ocorreu devido a esses elementos estarem contidos em minerais com menor solubilidade, o que requer mais tempo para que essa disponibilidade na solução do solo ocorra de forma natural, assim como também verificado por Souza et al. (2017) ao avaliarem remineralizador de rocha de mineração.

Para os teores de Ca (Tabela 3) foi observado um comportamento similar ao P entre os tratamentos estudados, uma vez que T6 foi superior, estatisticamente, aos demais tratamentos, com exceção de T5. Entre as doses de fosfato estudadas, notou-se um acréscimo gradual, com um incremento entre T3 a T6 de 1,16 cmolc dm⁻³ (52,72%). Já entre T0 e T6 ocorreu um aumento bem mais expressivo, de 2,83 cmolc dm⁻³ (533,96%). As respostas observadas, provavelmente, têm relação com as concentrações de CaO existentes na rocha fosfática extraída, que é de 12,14% (Tabela 1).

Os teores de Mg (Tabela 3), ao que tudo indica, parecem ter surtido efeito em função da calagem realizada nos tratamentos, pois, apenas o T0 (Controle), com ausência da calagem, foi

inferior estatisticamente aos demais. Apesar da rocha fosfática conter MgO em sua composição (1,72%) (Tabela 1), não foi possível detectar um aumento em função das doses aplicadas neste experimento.

Comparativamente à resposta obtida com a aplicação de 150 kg⁻¹ de P₂O₅, via fonte convencional de P (T2), a aplicação da rocha fosfática apresentou a mesma disponibilidade de P equivalente, e produziu 46,11% menos P, na solução do solo, que o tratamento T6 (Tabela 2). A aplicação de rocha fosfática apresenta resultados promissores para o uso na agricultura, assim como observado por Silveira (2016), avaliando fosforito associado à calagem e/ou pó de rocha de basalto.

CONCLUSÕES

A rocha fosfática estudada proporciona o aumento da disponibilidade de P e Ca, na solução do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERREIRA, L. H. G.; GOMES, A. S., POSSER, C. A. Fosfatos naturais na adubação de sistema de culturas de verão com ênfase no arroz irrigado. Pelotas, Embrapa Clima Temperado, 2008. p.8. Disponível em: <www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/746680/fosfatos-naturais-na-adubacao-de-sistema-de-culturas-de-verao-com-enfase-no-arroz-irrigado> Acesso em 22 de setembro de 2019.
- GHOLIZADEH A. ARDALAN M. TEHRANI M.M. HOSSEINI H.M. KARIMIAN N. Solubility test in some phosphate rocks and their potential for direct application in soil. World Applied Sciences Journal. Vol. 6, n. 2 2009. Disponível em: <[www.idosi.org/wasj/wasj6\(2\)/5.pdf](http://www.idosi.org/wasj/wasj6(2)/5.pdf)> acesso em 22 de setembro de 2019.
- SBCS – SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11 ed. Frederico Westphalen: Núcleo Regional Sul, Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2016. 376 p.
- SILVEIRA, R. T. G. Uso de rochagem pela mistura de pó de basalto e rocha fosfatada como fertilizante natural de solos tropicais lixiviados. 2016. viii, 98 f., il. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas) -Universidade de Brasília, Brasília, 2016.
- SOUSA, D. M. G.; REIN, T. A.; NUNES, R. S.; REIN, T. A.; SANTOS JUNIOR, J. Manejo da adubação fosfatada para culturas anuais no cerrado. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 2016. 10 p. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154889/1/CT-33.pdf>> acesso em 22 de setembro de 2019.
- SOUZA, F. N. S.; OLIVEIRA, C. G.; MARTINS, É. S.; ALVES, J. M.; Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Revista Agrienvironmental Sciences**, V. 3, n 1, 2017. Disponível <<https://revista.unitins.br/index.php/agri-environmental-sciences/article/view/204/345>> acesso em outubro de 2019

DOSES DE PÓ DE SILTITO E DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

**BEATRIZ MOTTA RODRIGUES¹, ROSECLÊNIA ALVES SANTOS², BRUNA
OLIVEIRA FERREIRA¹, ANTÔNIO CARLOS AZEVEDO¹**

¹ Doutoranda – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo – Avenida Pádua Dias, 11, São Dimas, Piracicaba-SP, 13418-900). beatriz_mr@usp.br

² Doutoranda – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (Universidade Federal Rural de Pernambuco – Rua Dom Manuel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife-PE, 52171-900). roseclenia.alves@gmail.com

¹ Engenheira agrônoma – (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo – Avenida Pádua Dias, 11, São Dimas, Piracicaba-SP, 13418-900).

¹ Professor associado - Departamento de Ciência do Solo (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz/Universidade de São Paulo – Avenida Pádua Dias, 11, São Dimas, Piracicaba-SP, 13418-900). aazevedo@usp.br

Resumo

Pós de rocha (PR) são fontes alternativas de nutrientes para as plantas cultivadas, mas seu desempenho agrônômico precisa ser investigado. Um siltito de metassedimentos proterozoicos foi coletado em Coromandel – MG. O PR denominado S5 continha teor total 8.56% P₂O₅, e aquele denominado de S30, teor total de 36.25% P₂O₅. O experimento fatorial [(5x3)+1] considerou três fontes de P: S5, S30 e Super Fosfato Triplo (SFT) e cinco doses: 0,0; 0,5; 1,0; 2,0 e 4,0 vezes a recomendação de P para aveia, conforme Boletim 100, do IAC-SP. O experimento foi replicado 4 vezes, com 4 ciclos de cultivo (C1 a C4). No solo, o P inicial foi de 7 mg dm⁻³, e a recomendação, segundo o Boletim 100 IAC, foi de 40 kg P₂O₅ há⁻¹. A análise de variância foi feita através do teste Tukey (5%) para fatores e níveis estatísticos. No solo, o teor de P não diferiu entre S30 e SFT, e ambos foram maiores que S5. O teor de P no tecido vegetal evidenciou efeito significativo apenas para doses de 80 e 160 kg de P₂O₅ ha⁻¹ para a fonte de SFT em C4. A disponibilidade de P aumentou em todos os cultivos (C1 a C4) e em função das doses de P₂O₅.

Palavras-chave: pó de rocha; nutrição mineral; fertilizante alternativo

INTRODUÇÃO

Os solos tropicais brasileiros são reconhecidamente intemperizados e apresentam baixa fertilidade natural, de modo que a adubação na agricultura brasileira é caracterizada,

principalmente, pela utilização de fontes fertilizantes solúveis, que são importadas, finitas e não renováveis. Estas particularidades expõem o país às variações de preços de fertilizantes do mercado internacional, visto que 75% dos fertilizantes são importados, tornando o Brasil o quarto maior consumidor mundial de fertilizante (Pillon, 2017).

Devido a este quadro, alguns setores como a pecuária e o reflorestamento utilizam quantidades limitadas de fertilizantes solúveis, obtendo produção abaixo do potencial das culturas. Portanto, é necessário desenvolver tecnologias que amenizem este quadro e auxiliem o suprimento e o uso sustentável de nutrientes para os setores agropecuário e florestal brasileiro, como práticas de manejo, tecnologias eficientes e que melhorem o uso eficiente de fertilizantes solúveis, e identificação de fontes alternativas de nutrientes (minerais e orgânicas), como os pós de rocha (Van Straaten, 2006; Manning, 2015).

A rochagem é a utilização de pós de rocha como condicionadores de solo, com potencial liberação de nutrientes para as plantas. Entre as vantagens da rochagem estão a economia da mão de obra, devido à redução de frequência de aplicação e o fornecimento gradual de nutrientes às plantas, diminuindo as perdas por lixiviação (Von Frangstein et al., 1988).

Quando a liberação de nutrientes é um dos principais objetivos do uso de pós de rocha nos solos, seu desempenho deve ser avaliado em condições experimentais, devido a diversidade e complexidade das interações rocha-solo-planta. Os experimentos também são importantes para estabelecer a recomendação de doses necessárias para apoiar o uso agrônômico.

Dessa forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a disponibilidade de fósforo (P) em função das doses, bem como comparar a liberação de P com uma fonte tradicional de P.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas amostras de metassedimentos proterozoicos (Silva, 2006) com conteúdo variável de P, em uma área pertencente a Empresa Brasileira de Mineração Coromandel, sob as coordenadas 18 ° 28 '00" S 46 ° 58' 00" W em Coromandel – MG. As amostras foram secas ao ar, trituradas e peneiradas em malha de 2 mm.

Com base no teor de P solúvel em ácido cítrico (P_2O_5 -ac), dois siltitos foram selecionados para o experimento, um com 4,2% de P_2O_5 -ac, denominado de S5 (8.56% de P_2O_5 total), e outro com 8,8% de P_2O_5 -ac, denominado como S30 (36.25% de P_2O_5 total). O solo utilizado para o estudo foi um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, com textura média, coletado em uma área de superfície remanescente, com uso atual da terra restrito às gramíneas, na camada de 0 a 0,20 m, sem aplicação de calcário. Os índices químicos de fertilidade foram determinados de acordo com o método padrão do estado de São Paulo (Raj et al., 2001).

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, mediante protocolo agrônômico proposto pela Embrapa (2012). Vasos plásticos com 4 dm³ foram preenchidos com 5 kg de solo, em delineamento inteiramente casualizado (DIC) e tratamento fatorial adicional [(5x3) +1]. Para satisfazer os pressupostos de normalidade, a variável P (teor de fosforo) foi transformada em P⁻².

Os tratamentos foram três fontes de P: silito 5% de P₂O₅-ac (S5), silito 8% de P₂O₅-ac (S30) e superfosfato triplo (SPT). As fontes foram aplicadas em cinco doses: 0,0; 20,0; 40,0; 80,0 e 160,0 kg ha⁻¹, que correspondem a 0, 0,5, 1, 2 e 4 vezes a dose recomenda de P₂O₅ para a cultura da aveia, respectivamente (Boletim 100, IAC, 1997). Além disto, o experimento foi replicado 4 vezes (cópias), de modo que, ao final de cada cultivo, um conjunto de vasos foi desmontado para análises químicas e de tecidos vegetais, enquanto os outros conjuntos permaneceram para o próximo cultivo (totalizando 204 vasos).

A primeira cópia (C1) compreende o período de incubação de 21 dias. A segunda e terceira cópias (C2 e C3) foram cultivadas com aveia (*Avena sativa*) da variedade IAC 7. A quarta cópia (C4) foi cultivada com o milho BRS-1501 (*Pennisetum glaucum*), uma vez que a aveia não era adequada para o período de verão, estabelecido na época. Cada colheita foi realizada após 50 dias. As análises estatísticas foram realizadas no software R. Os dados foram transformados (y⁻¹) e submetidos à análise de variância, com teste de comparação de médias Tukey a 5% de significância para os fatores fontes e níveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os atributos químicos (Tabela 01), a concentração inicial de P desse solo foi de 7 mg dm⁻³.

Tabela 01 – Análise química do solo utilizado no experimento.

pH (CaCl ₂)	M.O	V	P	CTC	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	g. dm ⁻³	%	mg dm ⁻³			mmolc dm ⁻³			
5	15	43	7	38,6	0,6	11	5	2	22

O uso das fontes de P resultou em mudanças significativas na disponibilidade de P no solo, com efeito significativo para o controle (0,0 g de P₂O₅), ao nível de 1% de significância. Independente da fonte de P, o P disponível sofreu efeito positivo e linear, aumentando com a dose em todas as cópias (C1, C2, C3 e C4) (Figura 01).

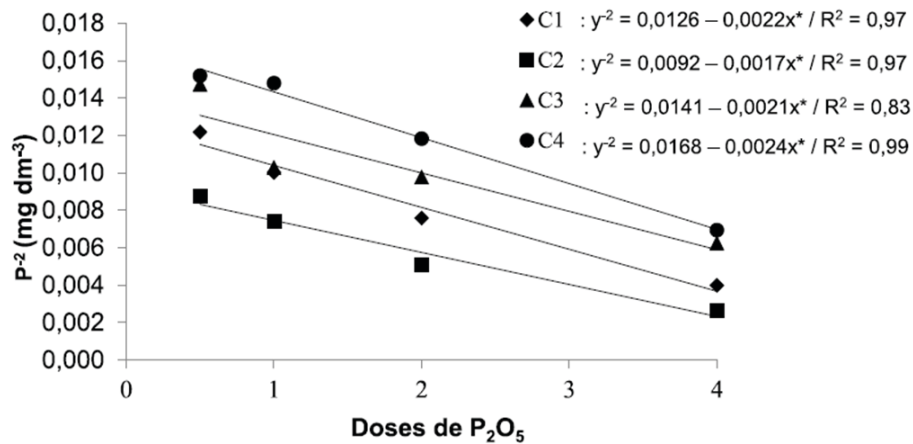


Figura 01. Curvas das respostas de fósforo disponível no solo, em função de doses de P₂O₅ (ressalta-se que no eixo vertical a variável P está transformada, P², ver texto).

No solo, a disponibilidade de P foi influenciada pela fonte, com maior concentração na C2, decrescendo nas demais (C3 e C4), em todas as fontes, em função da extração pelos cultivos sequenciais (Figura 02). Nos períodos avaliados, a menor disponibilidade de P foi observada na aplicação de S5, enquanto S30 e o STF apresentaram maior concentração de P disponível, sem diferença entre suas médias.

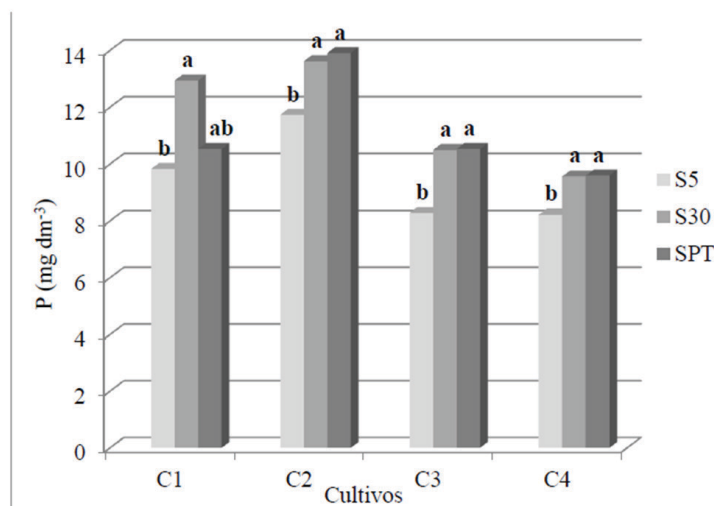


Figura 02. Médias de fósforo (P) disponível no solo em função de diferentes fontes de P₂O₅.

Escosteguy e Klamt (1998) relataram o aumento do P disponível, após a aplicação de remineralizadores, como basalto. Rocha ultrabásica alcalina e brecha piroclástica foram também testadas por Ribeiro et al. (2010), mas não encontramos publicações sobre siltitos, até agora.

Nos tecidos das plantas, as concentrações de P tiveram efeito significativo apenas para a C4, com milho. Isso pode estar relacionado com a alteração da cultura no experimento (de aveia para milho), uma vez que plantas C₄, como milho, têm maior capacidade de extrair P do solo.

A análise de variância para a concentração de P no tecido da planta, na C4, mostrou efeito significativo para a fonte de SPT, nas doses de 80 e 160 kg de P₂O₅ ha⁻¹. O teste Tukey evidenciou que o SPT resultou em maior concentração de P no tecido vegetal, o que já era esperado mediante a alta solubilidade dessa fonte (Figura 03).

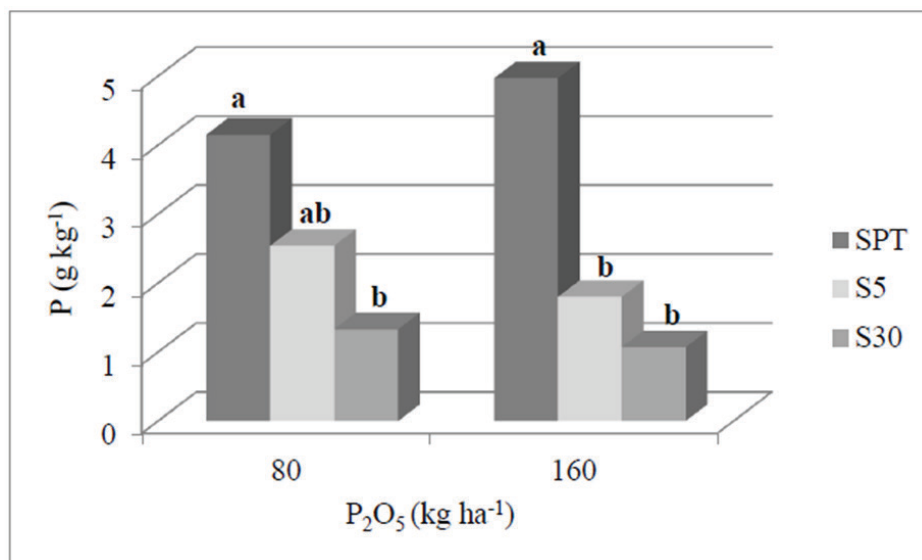


Figura 03. Médias de P disponível no tecido vegetal da cultura do milho (C4).

CONCLUSÕES

- A disponibilidade de P no solo aumentou em todos os intervalos (C1 a C4), com aumento das doses de P₂O₅ aplicadas.
- A disponibilidade de P no solo foi máxima no primeiro cultivo, denotando a solubilidade adequada dos pós de rocha testados (S5 e S30).
- No tecido vegetal houve diferença significativa de P disponível apenas para a fonte de SPT, na cultura do milho (C4).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS)**. 5.ed. Brasília: 230 Embrapa Solos, 2018. 356p.
- ESCOSTEGUY, P.A.V.; KLANT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, p.11-20, 1998.
- MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14-17, 1 fev. 2015.
- PILLON, C. N. Dos pós de rocha aos remineralizadores: passado, presente e desafios. Anais III Congresso Brasileiro de Rochagem. 2017.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A. **Método de análise de solo para fins de fertilidade**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 31p. (IAC. Boletim, 81).
- RIBEIRO, L.S.; SANTOS, A.R. dos; SOUZA, L.F.S.; SOUZA, J.S. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fonte de nutriente para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, p.891-897, 2010.
- SILVA, L.G. **Metodologia Geofísica para discriminação de corpos intrusivos na 265 província alcalina de alto Paranaíba-MG**. 2006. 117p. Dissertação (Mestrado) -Universidade de Brasília, Brasília.
- VAN STRAATEN, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 78:731-747.
- VON FRAGSTEIN, P.; PERTL, W.; VOGTMANN, H. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. **Zeitschrift für Pflanzenern.hrung und Bodenkunde**, 151:141-146. 1988.

DISSOLUÇÃO DE ALBITA APÓS SEIS ANOS DE APLICAÇÃO DE PÓ DE DIABÁSIO EM CAMPO

JACQUELINE KOCHAN LEPCHAK¹, MARINA ELIAS CURY², RAFAEL CIPRIANO DA SILVA³, JOÃO JOSÉ CARDINALE IEDA⁴, ANTONIO CARLOS DE AZEVEDO⁵

1 Universidade de São Paulo/ESALQ (USP) Av. Pádua Dias, 11, 13418-260, Piracicaba-SP. e-mail: lepchakjk@usp.br.

2 Engenheira Agrônoma, /ESALQ (USP) Av. Pádua Dias, 11, 13418-260, Piracicaba-SP. e-mail: marina.cury@usp.br.

3 Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência do Solo /ESALQ (USP) Av. Pádua Dias, 11, 13418-260, Piracicaba-SP. e-mail: ciprorafael@yahoo.com.br.

4 Engenheiro Mecânico /UNICAMP. Av. Pádua Dias, 11, 13418-260, Piracicaba-SP. e-mail: joao.ieda844@gmail.com

5 Universidade de São Paulo/ESALQ (USP) Av. Pádua Dias, 11, 13418-260, Piracicaba-SP. e-mail: azevedo@usp.br.

Resumo:

A aplicação de pó de rocha ao solo deve ser acompanhada do entendimento dos mecanismos desencadeados. Assim, compreender a dinâmica de dissolução dos minerais é importante para o planejamento do manejo a ser empregado. Porém, as taxas de dissolução em laboratório são dezenas de vezes mais rápidas que aquelas estimadas no campo. Neste trabalho, utilizamos o balanço de massa associado com a fórmula estrutural de albitas do sill de Limeira-SP, para realizar uma estimativa da dissolução da albita em um campo experimental, em Pirassununga- SP. A dose utilizada foi de 19 Mg ha⁻¹. O volume de controle foi de 0 - 0.01 m. As amostras foram analisadas em ICP-MS. Para isso, um dos pressupostos utilizados é que a quantidade de Na é oriunda apenas da albita. Sendo assim, a quantidade exportada do volume de controle foi 2,40 g kg⁻¹ de pó de rocha. Assumindo a fórmula da albita neste sill é Si₁₀O₇Al₅82Fe_{0.08}Ti_{0.02}Mn_{0.01}Mg_{0.03}Ca_{1.96}Na_{1.84}K_{0.09}, a massa de albita dissolvida foi de 61,33 g kg⁻¹ de pó de diabásio. No experimento de campo, estes valores equivaleriam a dissolução de 1165 kg ha⁻¹ de albita, para dose de 19 Mg ha⁻¹, resultando na taxa média de 233,3 kg ha⁻¹ de albita.

Palavras-chave: feldspato; albita; pó de rocha.

1. INTRODUÇÃO

O intemperismo químico das rochas tem grande influência sobre ciclagem de elementos na crosta, concentrações de elementos no ciclo hidrológico, no clima global em escala de tempo

geológica (WHITE; BRANTLEY, 2003), e na disponibilidade de nutrientes inorgânicos nos solos (FEDERER et al., 1989). A utilização de pó de rocha aplicado ao solo pode colaborar para suprir algumas demandas, como o esgotamento de fontes minerais de K para produção agropecuária (MANNING, 2015), e como uma tecnologia para mitigação de carbono atmosférico (STREFLER et al., 2018). O potencial de rochas silicáticas para o sequestro de carbono atmosférico, através do intemperismo acelerado, depende, em parte, das características químicas e físicas das rochas utilizadas.

Os feldspatos são os minerais mais abundantes na crosta terrestre (BLUM e STILLINGS, 1995), e estão presentes em grande quantidade nas rochas ígneas básicas. Portanto, o estudo da dissolução de feldspatos no solo é central para o uso tecnológico do intemperismo. No entanto, as taxas de intemperismo de minerais silicáticos observadas em laboratório apresentam-se em até cinco ordens de magnitude superiores às inferidas em campo (WHITE; BRANTLEY, 2003), (MOORE et al., 2012). Estimar as taxas de dissolução para pó de rocha, que possuem área específica bem maior que as rochas em condição natural, deve considerar fatores relevantes como: tamanho de partícula, clima do entorno, atividade biológica no solo, presença de colóides e tamponamento químico (EVANS, 1965; BEHRENS et al., 2015; RUIZ-AGUDO et al., 2016).

No entanto, devido ao longo tempo necessário para identificar modificações mineralógicas, estudos de dissolução de pó de rocha em campo são escassos, porém, importantes para o entendimento da mobilidade dos elementos, da capacidade de tamponamento do pó de rocha, e das fases residuais dos minerais primários e fases neoformadas secundárias, produtos do intemperismo (HAUSRATH et al., 2011). Uma estratégia para obter esta estimativa é utilizar um elemento que apresente grande mobilidade e que possa ser um indicativo de como o intemperismo dos minerais aplicados no solo, após adição do pó de rocha, ocorrem. No caso apresentado, aqui, o Na foi utilizado, pois está presente quase exclusivamente na estrutura da albita, apresentando alta mobilidade (DIXON, 1989), e possibilitando uma inferência direta da quantidade deste mineral dissolvido pelo intemperismo.

Assim, o objetivo deste trabalho é estimar a quantidade e inferir a dinâmica de dissolução de plagioclásios, ao longo de 61 meses (5 anos e 1 mês) de permanência na superfície de um solo agrícola, sob manejo em sistema de plantio direto.

2. METODOLOGIA

O pó de rocha utilizado foi coletado no sill de Limeira (SP), após britagem, moagem e peneiramento. A estrutura do sill apresenta uma composição variada, porém, a coleta foi efetuada na área de diabásio, que apresenta uma mineralogia composta por piroxênios, plagioclásios e anfibólios em sua composição. De acordo com Faria (2008), os piroxênios destes diabásios são

augitas, na totalidade. Os plagioclásios têm composição entre oligoclásio e labradorita. Nos anfibólios presentes, a ferrohornblenda predomina em quase todas as rochas do sill.

O experimento se localizou no município de Pirassununga (SP). O clima é tropical sazonal, do tipo “Cwa”, segundo classificação de Koppen (KÖPPEN, 1948). A área experimental foi, anteriormente, cultivada com maracujá (*Passiflora edulis* S), e a partir de 2009, com milho (*Zea mays* L), em sistema de plantio direto.

Houve um primeiro experimento implantado em 06 de outubro de 2012, com aplicação de 4 Mg há⁻¹ de pó de rocha. Em 19 de dezembro de 2013, ocorreu a aplicação de mais 15 Mg há⁻¹ de pó de diabásio, nas mesmas parcelas que receberam 4 Mg há⁻¹, totalizando 19 Mg há⁻¹. A aplicação de fertilizante NPK (20-05-19) ocorreu 7 dias depois da aplicação do pó de rocha, após a emergência das plântulas, em uma dose de 380 kg há⁻¹. A cultura de milho foi mantida como principal (com pousio ou cultivo de aveia e incorporação, no inverno), até o início de 2020. O solo, no campo experimental, é um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO Ácrico Típico (EMBRAPA, 2018), de textura franco argilo arenosa. As análises químicas do perfil são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises químicas do perfil do solo no local do experimento (CIPRIANO, 2016).

Horiz.	Prof.	pH		Ca	Mg	Al	H+Al	Na	K	P	SB	CTC	V%	m%
		H2O	KCl	-----cmolc kg-1-----						mg kg-1				
Perfil Pirassununga														
Ap	0-10	6,7	7	26	14	<0,1	31	<0,3	6,5	18	46,5	77,5	60	0
BA	10-30	5,5	5,1	<1	1	6	32	<0,3	1,3	8	3,3	35,3	9	65
Bw1	30-80	5,5	5,1	<1	1	2	27	<0,3	0,3	<1,6	2,3	29,3	8	47
Bw2	80-135	5,5	5,1	<1	<0,1	1	21	<0,3	0,1	<1,6	0,1	21,1	0	91
Bw3	135-175	5,3	5,2	<1	<0,1	1	19	<0,3	0,1	<1,6	0,1	19,1	1	91
Bw4	175-200+	5,4	5,6	<1	<0,1	<0,1	12	<0,3	0,1	<1,6	0,1	12,1	1	0

Os tratamentos utilizados no presente estudo foram:

- Tratamento C: controle;
- Tratamento R: 4+15 Mg ha⁻¹ (4 Mg ha⁻¹ aplicadas em 06 de outubro de 2012 e 15 Mg ha⁻¹ aplicadas em 19 de dezembro de 2013).

O experimento foi encerrado por solicitação dos proprietários da fazenda, em 2017. Porém, em janeiro de 2019, um novo contato com os proprietários revelou que parte da área experimental não havia sido comprometida. Em uma nova visita à propriedade, verificamos que duas parcelas do tratamento C e duas parcelas do tratamento R ainda permaneciam com o mesmo manejo

e cultivo com milho. Amostras foram coletadas nestas parcelas, possibilitando o estudo do intemperismo do pó de rocha em campo, após 61 meses de aplicação.

Amostras íntegras, coletadas em um volume de controle de 0-0,01m, foram submetidas à análise de ICP-MS (espectrometria de massa com fonte de plasma indutivamente acoplado). Os valores foram corrigidos pela LOI e normalizados por um elemento índice, neste caso, o Zr.

O cálculo do balanço de massa foi realizado com base na equação geral (equação 1):

$$BM = (RxA - CxA) - (RxB - CxB) \text{ (eq. 1)}$$

Onde:

BM: Balanço de massa;

TxA: Teor total normalizado do elemento químico “x”, na amostra do tratamento R, na coleta “A”,

CxA: Teor total normalizado do elemento químico “x”, na amostra do tratamento C, na coleta “A”,

TxB: Teor total normalizado do elemento químico “x”, na amostra do tratamento R, na coleta “B”,

CxB: Teor total normalizado do elemento químico “x”, na amostra do tratamento C, na coleta “B”.

Como pode ser inferido na equação 1, valores negativos de BM implicam que houve saída de massa do elemento do volume de controle, e valores positivos, que houve concentração residual do elemento, já que nenhuma entrada de massa foi considerada (deposição atmosférica, aporte de material vegetal, etc.).

Para esta estimativa de balanço, foram assumidos os seguintes pressupostos:

- 1- Os únicos minerais do pó de rocha que apresentam sódio (Na) em sua composição são os plagioclásios;
- 2- Os plagioclásios foram considerados homogêneos quanto à composição química dos cristais, isto é, a heterogeneidade espacial da solução sólida anortita-albita (conforme apresentada por Faria 2008) não foi considerada.
- 3- Nas amostras do tratamento C, controle (solo sem pó de rocha), o teor de Na total apresentou-se abaixo do limite de detecção (<0,01%) do ICP-MS. Para manter o balanço conservador (da perspectiva do intemperismo), isto é, assumir que a dissolução foi mínima, consideramos o valor de Na como sendo imediatamente inferior ao limite de detecção, isto é, 0,09 g kg⁻¹;
- 4- A dissolução de plagioclásio foi considerada como congruente para simplificação dos cálculos;
- 5- Todo Na dissolvido, a partir do plagioclásio, foi exportado do volume de controle (isto é, não houve precipitação em uma nova fase sólida ou adsorção nas superfícies de troca para o Na).

Estes pressupostos são necessários para viabilizar as estimativas com os dados disponíveis, ou simplificação dos cálculos.

A fórmula estrutural do plagioclásio foi obtida do trabalho de (FARIA, 2008), levando em conta 20 cátions e 32 oxigênios, estimados durante seu estudo da diferenciação magmática do sill de Limeira:

Plagioclásio: $\text{Si}_{10.07}\text{Al}_{5.82}\text{Fe}_{0.08}\text{Ti}_{0.02}\text{Mn}_{0.01}\text{Mg}_{0.03}\text{Ca}_{1.96}\text{Na}_{1.84}\text{K}_{0.09}$.

A equação 1 foi utilizada com A = 61 meses e B = 3 meses.

A massa molecular (com base em 20 cátions e 32 oxigênios) do plagioclásio é de 31083,32 g mol⁻¹. Nesta, o Na contribui com 42,39 g mol⁻¹.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fórmula elementar do plagioclásio, tomada de (FARIA, 2008), está no campo da anortita. O Balanço do Na foi de -2,40 g kg⁻¹ de pó de rocha, em 61 meses (Tabela 2). O plagioclásio tem massa molecular de 1083,32 g mol⁻¹, dos quais 42,39 g mol⁻¹ representam a contribuição do Na. Com base nestas relações, a massa estimada de plagioclásio dissolvida foi de 61,33 g kg⁻¹ de pó de rocha. Este valor, extrapolado para as 19 Mg há⁻¹ de pó de rocha aplicadas, é equivalente à dissolução de 1165,00 kg ha⁻¹ em 61 meses, resultando em uma taxa média de 233,3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de plagioclásio.

Esse valor representa uma dissolução total de plagioclásio, após 61 meses, de 6%.

Tabela 2. Balanço de massa no volume de controle (camada 0.01 m), após 61 meses.

Amostra	Na (amostras) (g Kg ⁻¹ pó de rocha)	Quantidade de plagioclásio dissolvido (estimativa) g Kg ⁻¹ de pó de rocha
		Plagioclásio
C _B	0,09	
R _B	3,02	
(R ₃ - C ₃)	2,93	
C _A	0,09	
R _A	0,62	
(R _A - C _A)	0,53	
BM1 (R _A - C _A)-(R _B - C _B)	-2,40	61.33

4. CONCLUSÕES

Com o uso do Na como elemento índice e a aceitação de pressupostos de aproximação, a estimativa de dissolução de plagioclásios, no solo, foi de 1165,3 kg de plagioclásio há⁻¹, em 61 meses no campo, para dose de 19 Mg há⁻¹, resultando em uma taxa média de 233,07 kg há⁻¹ ano⁻¹ para o plagioclásio.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEHRENS, R.; BOUCHEZ, J.; SCHUESSLER, J. A.; DULTZ, S.; HEWAWASAM, T.; VON BLANCKENBURG, F. Mineralogical transformations set slow weathering rates in low-porosity metamorphic bedrock on mountain slopes in a tropical climate. **Chemical Geology**, v. 411, p. 283–298, set. 2015.
- DIXON, J. B. et al. **Minerals in soil environments**. [s.l.: s.n.]
- EMBRAPA. SANTOS HG DOS, JACOMINE PKT, ANJOS LHC DOS, OLIVEIRA VA DE, LUMBRERAS JF, COELHO MR, ALMEIDA JA DE, ARAUJO FILHO JC DE, OLIVEIRA JB DE, C. T. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5a. ed. [s.l.: s.n.]
- EVANS, B. W. Application of a reaction-rate method to the breakdown equilibria of muscovite and muscovite plus quartz. **American Journal of Science**, v. 263, n. 8, p. 647–667, out. 1965.
- FARIA, C. A. Evolução Magmática Do Sill De Limeira: Petrografia E Geoquímica. p. 106, 2008. HAUSRATH, E. M.; NAVARRE-SITCHLER, A. K.; SAK, P. B.; WILLIAMS, J. Z.; BRANTLEY, S. L. Soil profiles as indicators of mineral weathering rates and organic interactions for a Pennsylvania diabase. **Chemical Geology**, v. 290, n. 3–4, p. 89–100, 24 nov. 2011.
- KÖPPEN, W. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra. **Fondo de Cultura Económica**, p. 479, 1948.
- MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14–17, 1 fev. 2015
- MOORE, J.; LICHTNER, P. C.; WHITE, A. F.; BRANTLEY, S. L. Using a reactive transport model to elucidate differences between laboratory and field dissolution rates in regolith. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 93, p. 235–261, 15 set. 2012.
- RUIZ-AGUDO, E.; KING, H. E.; PATIÑO-LÓPEZ, L. D.; PUTNIS, C. V.; GEISLER, T.; RODRIGUEZ-
 NAVARRO, C.; PUTNIS, A. Control of silicate weathering by interface-coupled dissolution-precipitation processes at the mineral-solution interface. **Geology**, v. 44, n. 7, p. 567–570, 2016.
- STREFLER, J.; AMANN, T.; BAUER, N.; KRIEGLER, E.; HARTMANN, J. Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 3, 2018.
- WHITE, A. F.; BRANTLEY, S. L. The effect of time on the weathering of silicate minerals: Why do weathering rates differ in the laboratory and field? **Chemical Geology**, v. 202, n. 3–4, p. 479–506, dez. 2003.



TEMA 2

Remineralizadores e sequestro de CO₂

ROCK DUST, CROP NUTRITION AND CLIMATE CHANGE

DAVID ANDREW CHARLES MANNING

School of Natural and Environmental Sciences, Newcastle University, Newcastle upon Tyne, NE1 7RU, UK; david.manning@ncl.ac.uk

Abstract:

Soils are the interface between the geosphere and the biosphere. They provide the minerals required for crop nutrition, and they regulate atmospheric CO₂ to a greater extent than the ocean. These functions are often treated separately, with studies focusing on either crop nutrition or on soil organic carbon. The use of silicate rocks as remineralizers addresses both functions. Weathering releases nutrients, including silica, for crop growth, and consumes atmospheric CO₂, generating bicarbonate in solution. If enough Ca is released, and with sufficient bicarbonate in solution, pedogenic calcite forms as a permanent sink for atmospheric CO₂. This can be verified using C and O stable isotopes. The potential of silicate rocks for carbon capture can be estimated from their chemical composition, and varies between 70 – 500 kg CO₂ per tonne of rock. Life cycle analysis shows that the carbon cost of mining, transport and spreading to land allows transport for over 500-1000 km before the carbon cost exceeds the benefits. Land management can take advantage of these processes to both increase crop production and to increase soil carbon, both improving soil health and quality.

Keywords: soil; remineralizer; carbon capture; silicate; weathering.

INTRODUCTION

The role of soils in mitigating anthropogenic CO₂ emissions has recently attracted considerable attention, given the targets that have been set internationally (e.g. COP21; Minasny et al., 2017) and nationally (e.g. the UK's legally binding target for net zero CO₂ emissions by 2050; UK Government, 2020). Initially focusing on soil organic matter, the '4 per mil' pledge sets out to increase soil organic carbon stocks by 0.4% (Minasny et al., 2017), but this represents an increase in a labile form of carbon, that can be removed through oxidation as a consequence (for example) of increased ploughing or other land management changes. An alternative approach focuses on inorganic carbon, either through the formation in soils of carbonate minerals such as calcite (Manning et al., 2013), or through enhanced rock weathering, in which atmospheric CO₂ is consumed during weathering and forms bicarbonate in solution, ultimately entering the ocean (Moosdorf et al., 2014). Combining soil fertility

with carbon mitigation, Beerling et al. (2020) have shown that application of rock dust at scale to soil at 40 tonnes per hectare has the potential globally to remove 0.5 to 2 gigatonnes of CO₂ per year. In this context, it is important to consider the practical implications for the use of remineralizers in the context of CO₂ removal from the atmosphere. The objective of this paper is to estimate the CO₂ removal potential for Brazilian rocks considered as potential remineralizers, and to discuss aspects of their use for this purpose in the context of Brazil's agricultural emissions.

MATERIALS AND METHODS

The potential to remove CO₂ from the atmosphere is calculated from the bulk chemical analysis of a rock, usually determined by XRF or using other methods with care to ensure a complete analysis. As an example, this has been estimated for 11 Brazilian rocks or rock products, whose compositions are given in Table 1. These include kamafugite, basalt, granodiorite, dacite, phonolite, verdete and schist, some of which are already classified as remineralizers.

Table 01 - Chemical composition of candidates for carbon capture.

wt%	Lourenço et al., 2017						Santos et al 2015		Araujo et al 2001		
	basalt	dacite	schist fines	phono-lite	grano-diorite	MBR8	retorted schist	verdete 4	verdete 13	mafu-rite L-6	ugandite L-28
SiO ₂	49.80	67.50	48.10	53.70	68.40	47.50	52.00	58.37	65.25	30.24	33.01
TiO ₂	-	-	-	-	-	-	-	0.61	0.60	7.06	6.18
Al ₂ O ₃	12.70	12.40	12.90	21.40	13.90	9.30	11.50	12.02	14.02	3.59	5.97
Fe ₂ O ₃	14.00	6.00	6.10	3.30	4.60	5.30	7.50	6.57	6.13	15.45	12.69
MnO	0.20	0.22	0.15	0.22	0.08	0.13	0.03	0.01	0.01	0.21	0.17
MgO	5.26	0.72	2.14	0.22	1.32	5.35	1.68	1.27	1.25	24.12	15.66
CaO	8.50	2.20	4.70	1.30	2.80	7.30	2.20	0.80	0.04	9.17	7.24
Na ₂ O	2.50	2.40	1.30	7.10	2.50	1.30	1.20	0.21	0.15	0.86	3.35
K ₂ O	1.43	4.63	1.76	8.37	4.08	1.76	2.53	6.33	9.04	2.17	3.52
P ₂ O ₅	0.43	0.22	0.21	0.07	0.26	0.23	0.22	0.00	0.02	0.50	0.60
S	-	-	3.26	0.05	0.05	10.75	3.30	0.04	0.02	-	-
loi	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.63	12.43
total	94.82	96.29	80.62	95.73	97.99	88.92	82.16	86.23	96.53	93.37	88.39
<i>kg/t</i>											
carbCO ₂	66.7	17.3	36.9	10.2	22.0	57.3	17.3	6.3	0.3	72.0	56.8
eCaCO ₃	151.7	39.3	83.9	23.2	50.0	130.3	39.3	14.3	0.7	163.7	129.2
eMgCO ₃	110.0	15.1	44.8	4.6	27.6	111.9	35.1	26.6	26.1	504.5	327.6
erwCO ₂	218.8	93.6	114.6	152.5	107.4	197.6	81.9	76.8	85.7	522.7	396.4

carbCO₂ denotes CO₂ removed as CaCO₃ (Equation 1); *eCaCO₃* and *eMgCO₃* denote the amounts of equivalent CaCO₃ and MgCO₃. *erwCO₂* is the CO₂ removed by enhanced rock weathering (Equation 2).

The equations used to determine the carbon capture potential of a rock involve (1) the conservative assumption that all CaO within the rock combines with CO₂ to give a calcium carbonate product (Equation 1; Lefebvre et al., 2019), and (2) that enhanced rock weathering (ERW) involves Ca, Mg, Na and K, taking into account Ca bound as phosphate and sulfate minerals which are assumed to be unreactive to weathering via reaction with CO₂ (Equation 2; modified from Renforth, 2019).

$$\text{CaO} + \text{CO}_2 = \text{CaCO}_3: \text{CO}_2 \text{ (kg/tonne)} = 10 \times (44/56) \times \text{CaO (wt\%)} \quad (1)$$

$$\text{erwCO}_2 = \frac{44}{100} \cdot \left(\frac{\text{CaO}}{56} + \frac{\text{MgO}}{40} + \frac{\text{Na}_2\text{O}}{62} + \frac{\text{K}_2\text{O}}{94} - \frac{\text{SO}_3}{80} - \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{142} \right) \cdot 10^3 \cdot 1.5 \quad (2)$$

In Equation 2, the factor 1.5 is the molar ratio of CO₂ to divalent cation, and is taken as 1.5 as a conservative global average (Renforth, 2019).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of the calculations are summarized in Figure 1. In this figure, it is assumed that selection of a material for increasing soil fertility is based on the potassium content; the same approach can be taken using other nutrients. Figure 1(A) shows that the CO₂ removal estimated for the precipitation of carbonate minerals decreases with increasing K₂O content, and this is to be expected, as igneous rocks with high K₂O are often naturally low in CaO. In contrast, when the alkali content, Na₂O and K₂O, and MgO are included with CaO, the amount of CO₂ removed through enhanced rock weathering is much greater for all rock types, including those with high K₂O contents (Figure 1B).

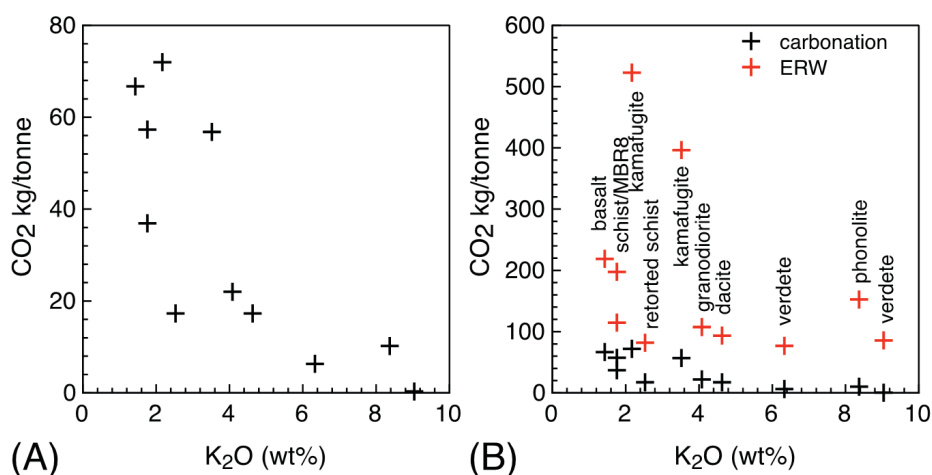


Figure 1. CO₂ removal for selected Brazilian rocks, estimated (A) assuming carbonate mineral formation (carbonation) and (B) assuming enhanced rock weathering (ERW).

The results summarized in Figure 1 clearly show that the basic and ultrabasic igneous rocks have the greatest potential for CO₂ removal, with the maximum values obtained for enhanced rock weathering of the kamafugites, whose chemical composition also appears to meet the requirements of IN 05/2016. The dacite, granodiorite, schist and one of the verdete samples fails IN 05/2016 as the sum of MgO + CaO + K₂O is less than 9%, and these rocks also show low potential for CO₂ removal. Interestingly, despite its low MgO and CaO contents, the phonolite has sufficient Na₂O and K₂O to have a high CO₂ removal potential through enhanced rock weathering, although the potential to form carbonate is very low.

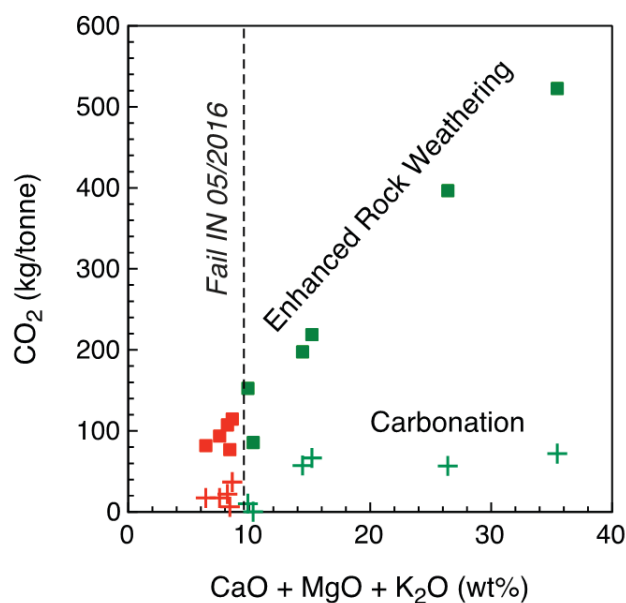


Figure 2. CO₂ removal compared with the sum CaO + MgO + K₂O, which must be greater than 9% for compliance with IN 05/2016.

Figure 2 shows the CO₂ removal compared with the sum of MgO + CaO + K₂O. Clearly, those rocks that fail IN 05/2016 as a consequence of this sum being below 9% have the lowest CO₂ removal potential. The kamafugites have the greatest CO₂ removal potential, then the basalts. The product MBR8, from Lourenço et al. (2017), and the phonolite exceed this requirement within IN 05/2016, and have potential to remove over 100 kg CO₂/tonne. On the basis of MgO + CaO + K₂O, verdete 13 (Santos et al., 2015) meets the requirements of IN 05/2016, but could remove less than 100 kg CO₂/tonne through enhanced weathering, and only 0.3 kg CO₂/tonne through carbonation, given its very low CaO content.

Clearly, there is a carbon cost to the process of applying a rock dust to soil. This has been assessed rigorously using basalt/diabase mined in São Paulo state as a case study (Lefebvre et al. 2019). The distribution of quarries in the Lower Cretaceous Paraná volcanic province (Baggio et al., 2016) was mapped, and the carbon cost calculated for the processes of mining,

crushing, transport and application to land. The composition of the basalt reported by Baggio et al. (2016) is similar to that cited in Table 1. The carbon cost of using this material exceeds the carbon benefit at distances of 544 ± 65 assuming carbonation only, and 994 ± 116 km assuming enhanced rock weathering. Given that the kamfugites considered here have more than twice the carbonation potential of basalt, they could be transported further before the carbon cost outweighs the associated CO₂ removal benefits.

Validation of the value of a remineralizer for crop growth can be demonstrated through carefully designed plant growth trials. However, validation of claims for CO₂ removal are more challenging. In principle, the amount of carbonate mineral that forms in a soil can be measured, as has been shown for artificial soils (e.g. Manning et al., 2013). Using C and O stable isotopes, it can be shown that carbonate minerals have a modern pedogenic origin, demonstrating that the process of carbonate mineral formation has taken place as a consequence of human interventions (e.g. Washbourne et al., 2015; Jorat et al., 2020). However, with enhanced rock weathering, although the amounts of rock added to a soil can be measured, it is not possible to take a soil sample after application and to unambiguously determine the amount of weathering for the treatment that has taken place. In both cases, the fact that the soil system is open means that the products of weathering, either precipitated carbonate minerals or solutes, are able to move through the soil profile. Moulton et al. (2000) showed how solutes derived from weathering entered groundwater and plant tissue, demonstrating that weathering had taken place, but also showing that the products of weathering disperse over a large 3-dimensional volume of geosphere and biosphere.

To achieve the very ambitious targets for CO₂ removal highlighted by Beerling et al. (2020), application rates of 40 tonnes per hectare are required. This is an enormous amount, and goes beyond what is normal practice for application of a remineralizer. For example, REMIN (Scotland) Ltd, a UK supplier of a remineralizer that matches the requirements of IN 05/2016, recommends 5 tonnes per hectare as a minimum application, and up to 20 tonnes per hectare as a 'booster' application (<https://www.reminscotland.com/home-3/how-to-use/>). Whilst an application twice the maximum recommended by a supplier might be good for business, it would result in the equivalent of a layer of rock dust about 2mm thick. How quickly this can be incorporated into the soil, preventing loss through erosion or wind transport, and the impact on soil biota of such a large amount, have yet to be demonstrated.

Brazil's emissions from agriculture are approximately 500 MT CO₂e/yr (Angelo and Rittl, 2020), and there are ambitious targets to restore 30 million hectares of degraded pasture (Batista et al. 2019). The contribution that remineralizers may make to mitigate CO₂ emissions are summarized in Figure 3. If applied to 1 million hectares (10% and 30% of land used for sugar cane and soy respectively) at 40 tonnes/hectare, remineralizers compensate 1-4% of Brazil's agriculture emissions; the kamafugites achieve around 2% at 20 tonnes/

hectare. Given the scale of agricultural land management and restoration of degraded pasture in Brazil, it appears that significant mitigation of agricultural CO₂ emissions can be achieved using remineralizers.

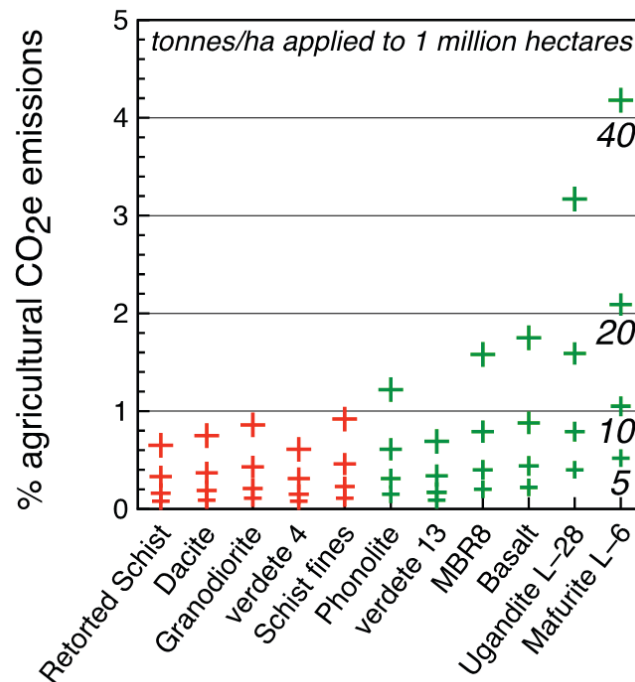


Figure 3. CO₂ mitigation potential, as % Brazilian agricultural emissions, of rock dusts (red) and remineralizers (green) applied at 5, 10, 20 and 40 t/ha to 1 million hectares.

CONCLUSIONS

This study shows that remineralizers have potential for the simultaneous removal of atmospheric CO₂, and so have potential to mitigate anthropogenic climate change. The basic and ultrabasic igneous rocks, including basalt and kamafugite, have the greatest potential and hold the possibility of forming soil carbonate minerals that can be used to verify CO₂ removal. Enhanced Rock Weathering gives much larger calculated values for CO₂ removal, but these cannot be verified easily from analysis of soil samples. Using 11 Brazilian rocks as examples, those igneous rocks that pass the IN05/2016 criteria that MgO + CaO + K₂O should exceed 9% have the potential to remove amounts of CO₂ exceeding 100 kg CO₂/tonne. Their widespread use in agricultural land management at a large scale has the potential to mitigate a significant proportion of Brazil's agricultural CO₂ emissions.

REFERENCES

- ANGELO, C.; RITTL, C. SEEG 2019. Relatório-Síntese. Novembro de 2019. Observatório do Clima. http://www.observatoriodoclima.eco.br/wpcontent/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf
- ARAUJO, A.; CARLSON, R.W.; GASPAR, J.C.; BIZZI, L.A. Petrology of kamafugites and kimberlites from the Alto Paranaíba Alkaline Province, Minas Gerais, Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v 142, p 163–177. 2001. <https://doi.org/10.1007/s004100100280>
- BAGGIO, S.B.; HARTMANN, L.A.; BELLO, R.M.S. Paralavas in the Cretaceous Paraná volcanic province, Brazil – A genetic interpretation of the volcanic rocks containing phenocrysts and glass. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v 88, p 2167-2193. 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150088>
- BATISTA, E.; SOARES-FILHO, B.; BARBOSA, F.; MERRY, F.; DAVIS, J.; van der HOFF, R.; RAJÃO, R.G. Large-scale pasture restoration may not be the best option to reduce greenhouse gas emissions in Brazil. *Environmental Research Letters*, v 14, 125009. 2019. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab5139>
- BEERLING, D.J.; KANTZAS, E.P.; LOMAS, M.R.; WADE, P.; EUFRASIO, R.M.; RENFORTH, P.; SARKAR, B.; ANDREWS, M.G.; JAMES, R.H.; PEARCE, C.R.; MERCURE, J.-F.; POLLITT, H.; HOLDEN, P.B.; EDWARDS, N.R.; KHANNA, M.; KOH, L.; QUEGAN, S.; PIDGEON, N.F.; JANSSENS, I.A.; HANSEN, J.; BANWART, S.A. Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature*, v 583, p 242-248. 2020. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2448-9>
- JORAT, M.E.; GODDARD, M.A.; MANNING, P.; LAU, H.K.; NGEOW, S.; SOHI, S.P.; MANNING, D.A.C. Passive CO₂ removal in urban soils: Evidence from brownfield sites. *Science of the Total Environment*, v 703, p 135573. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135573>
- LEFEBVRE D.; GOGLIO, P.; WILLIAMS, A.; MANNING, D.A.C.; DE AZEVEDO, A.C.; BERGMANN, M.; MEERSMANS, J.; SMITH, P. Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: a case study for Sao Paulo State, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 233, 468-481. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>
- LOURENÇO, Y. dos S.; NACHTIGAL, G. de F.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINAZZO, R.; BAMBERG, A.L. Avaliação do crescimento micelial e esporulação de isolados de *Trichoderma spp.* em presença de diferentes fontes inorgânicas e orgânicas. In: BAMBERG, A.L.; SILVEIRA, C.A.P.; MARTINS, É. de S.; BERGMANN, M.; MARTINAZZO, R.; THEODORO, S.H. *Anais III Congresso Brasileiro de Rochagem*. Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 205-210. 2016. <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1078602/avaliacao-do-crescimento-micelial-e-esporulacao-de-isolados-de-trichoderma-spp-em-presenca-de-diferentes-fontes-inorganicas-e-organicas>
- MANNING, D.A.C.; RENFORTH, P.; LOPEZ-CAPEL, E.; ROBERTSON, S.; GHAZIREH, N. Carbonate precipitation in artificial soils produced from basaltic quarry fines and composts: an opportunity for passive carbon sequestration. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, v 17, p 309-317. 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ijggc.2013.05.012>
- MINASNY, B.; MALONE, B.P.; McBRATNEY, A.B.; ANGERS, D.A.; ARROUAYS, D.; CHAMBERS, A.; CHAPLOT, V.; CHEN, Z.-S.; CHENG, K.; DAS, B.S.; FIELD, D.J.; GIMONA, A.; HEDLEY, C.B.; HONG, S.Y.; MANDAL, B.; MARCHANT, B.P.; MARTIN, M.; MCCONKEY, B.G.; MULDER, V.L.; O'ROURKE, S.; RICHER-DE-FORGES, A.C.; ODEHA, I.; PADARIAN, J.; PAUSTIAN, K.; PAN, G.; POGGIO, L.; SAVIN, I.; STOLBOVOY, V.; STOCKMANN, U.; SULAEMAN, Y.; TSUI, C.-C.; VÅGEN, T.-G.; VAN WESEMAEL, B.; WINOWIECKI, L. Soil carbon 4 per mille. *Geoderma*, v 292, p 59–86. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.01.002>

- MOOSDORF, N., RENFORTH, P.; HARTMANN, J. Carbon dioxide efficiency of terrestrial enhanced weathering. *Environmental Science and Technology*, v 48, p 4809-4816. 2014. <https://doi:10.1021/es4052022>
- MOULTON, K.L.; WEST, J.; BERNER, R.A. Solute flux and mineral mass balance approaches to the quantification of plant effects on silicate weathering. *American Journal of Science*, v 300, p 539-570. 2000. <https://doi:10.2475/ajs.300.7.539>
- RENFORTH, P. The negative emission potential of alkaline materials. *Nature Communications*, v 10, p 1401. 2019. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09475-5>
- SANTOS, W.O.; MATTIELLO, E.M.; da COSTA, L.M.; ABRAHÃO, W.A.P. Characterization of verdete rock as a potential source of potassium. *Revista Ceres, Viçosa*, v 62, p 392-400. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0034-737X201562040009>
- WASHBOURNE, C.-L.; LOPEZ-CAPEL, E.; RENFORTH, P.; ASCOUGH, P.L.; MANNING, D.A.C. Rapid removal of atmospheric CO₂ by urban soils. *Environmental Science and Technology*, v 49, p 5434-5440. 2015. DOI 10.1021/es505476d (open access). <https://doi.org/10.1021/es505476d>
- UK Government 2020 <https://commonslibrary.parliament.uk/insights/acting-on-climate-change-the-plan-for-net-zero-emissions-in-the-uk/>

O POTENCIAL DOS REMINERALIZADORES DE SOLOS E DOS SISTEMAS AGROFLORESTAIS PARA AMPLIAR A CAPTURA DE CO₂

GUSTAVO JOSÉ SOARES¹; SUZI HUFF THEODORO²; ANDRÉ MUNDSTOCK X. DE CARVALHO³

1 2 - Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural – PPG-MADER - Universidade de Brasília- UnB. Email: composteirascaseiras@gmail.com Email: suzitheodoro@unb.br

3 - Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal – Universidade Federal de Viçosa – Campus Rio Paranaíba. E-mail: andre.carvalho@ufv.br

Resumo: Os sistemas agroflorestais (SAFs) têm sido uma opção bem-sucedida para a produção de alimentos. Para potencializar esse modelo de produção, o uso de remineralizadores adquire um papel primordial, já que amplia a oferta de nutrientes no solo. Nossa hipótese é que a combinação dessas duas práticas agroecológicas facilita o aumento da fertilidade dos solos, favorece o crescimento das espécies vegetais e amplia o sequestro de CO₂ atmosférico. O objetivo do trabalho é avaliar se o uso de remineralizadores de solo, aplicados (ou não) na implantação de quatro SAFs, contribuiu com a melhora de parâmetros químicos do solo, com o desenvolvimento dos SAFS e na captura de CO₂. Durante um ano, foram analisados os atributos de fertilidade do solo e o crescimento de seis espécies arbóreas, presentes nas quatro áreas com três anos de implantação. Os dados obtidos no estudo observacional foram submetidos à ANOVA *on ranks* e as médias foram comparadas por contrastes do teste t. Os resultados mostraram que as áreas com remineralizadores apresentaram níveis de fertilidade superiores àquelas sem o acréscimo desse insumo, o que, possivelmente, influenciou no desenvolvimento das espécies analisadas e na potencial captura de CO₂.

Palavras-chave: Agrofloresta; Remineralizadores de solo; Fertilidade; Sequestro de CO₂.

INTRODUÇÃO

A recuperação e fertilização dos solos é um dos pressupostos da tecnologia da rochagem, que prevê o uso de pós de rocha (remineralizadores) para alterar os níveis de fertilidade de solos empobrecidos quimicamente. A incorporação de minerais ao solo pode ser entendida como uma espécie de “banco de nutrientes”, já que a disponibilização (solubilidade) mais lenta desses

materiais, assegura níveis de produtividade e de fertilidade dos solos por períodos mais longos (LEONARDOS; THEODORO, 1999; THEODORO, et al., 2013; CARVALHO et al., 2018).

Várias pesquisas (THEODORO; LEONARDOS, 2006 e 2015, RAMOS, et al., 2020) mencionam uma série de vantagens relativas ao uso dos remineralizadores de solo, entre as quais se destacam: o baixo custo de aquisição (desde que os materiais estejam disponíveis regionalmente); facilidade de aplicação e bom desempenho de produtividade (nas culturas de ciclo longo os ganhos podem ser maiores); melhor enraizamento das plantas; maior quantidade de massa verde e aumento de umidade no solo. Mais recentemente, o uso dos remineralizadores vem sendo sugeridos como um mecanismo para ampliar a captura de CO₂ atmosférico, seja porque potencializa o crescimento das espécies florestais (SOARES, 2018), seja pela formação de microagregados carbonatados no solo (CHURCHMAN et al., 2020).

De outro lado, King e Chandler (1978) sugerem que os SAFs são sistemas sustentáveis de uso da terra que combinam a produção de cultivos agrícolas, utilizando a mesma unidade de terra e aplicando técnicas de manejo que são compatíveis com práticas culturais da população local. Nair (1993) lembra que mesmo em arranjos mais simples, os SAFs são sempre mais complexos, ecológica (na sua estrutura e função) e economicamente, do que os sistemas de monocultivos. Arevalo, et al. (2002) informam que o uso de práticas de manejo agroflorestal e de ações conservacionistas podem mitigar e reduzir as emissões de carbono. Assim, as áreas de cultivo funcionam como reservatórios e fontes de carbono. Segundo os autores, essa lógica é dependente de como e com que propósito são manejados e como são utilizados seus produtos.

SISTEMAS AGROFLORESTAIS, REMINERALIZADORES E A CAPTURA DE CO₂

Em processos de restauração florestal, o crescimento das árvores amplia o aumento da biomassa arbórea e, portanto, de carbono. Segundo Zanini (2018), existem métodos diretos e indiretos para calcular o estoque de carbono. Aqui trataremos dos métodos indiretos, que se utilizam de modelos alométricos, conforme Brown (1997), que observou que a partir de tais modelos é possível identificar tendências em relação aos estoques anuais de carbono, em áreas de SAFs. Os estoques de carbono na fitomassa viva, quando avaliados por classe de idade, tendem a ser crescentes. Esse aumento gradativo é consequência do maior crescimento das árvores mais velhas, tanto em diâmetro quanto em altura, bem como da manutenção de densidades de indivíduos em função do manejo e da poda (STEENBOCK et al., 2013).

Além disso, Mbow (2014) sustenta que os SAFs agrupam estratégias de mitigação e adaptação às mudanças climáticas e fornecem opções para garantir a segurança alimentar, o que pode atrair mais atenção em agendas globais sobre mitigação, devido aos seus possíveis impactos positivos, tanto sociais quanto ambientais.

A atmosfera é o menor, porém o mais dinâmico dos reservatórios de CO₂, devido a sua estrutura de geometria linear e quantidade armazenada de CO₂. Dados recentes de Beerling et al. (2020) indicam que a emissão pode ser da ordem de 10 Gt CO₂ ano⁻¹. Esses autores advertem que mudanças tecnológicas podem reduzir as emissões para a ordem de 2–2,5 Gt CO₂ ano⁻¹. Para alcançar essa redução, os autores sugerem o uso de rocha moída (especialmente basálticas) para a produção agrícola. Eles baseiam-se no fato de que o intemperismo dessas rochas, ricas em Ca, Mg, e Fe, tem potencial para se converter em uma estratégia de remoção (sequestro) de dióxido de carbono, quando aplicado para a correção de solos. No intemperismo dessas rochas, ocorre a liberação de cátions básicos, gerando alcalinidade, que pode favorecer a formação de novos compostos, a partir de CO inorgânico e orgânico. Como os basaltos são rochas comuns, este recurso abundante seria uma forma de acelerar o processo de sequestro de CO₂. Para Beerling et al. (2020), o Brasil tem uma posição privilegiada, porque não está no grupo dos maiores emissores (como China e Estados Unidos), por possuir um setor agrícola dinâmico e uma vasta disponibilidade de rochas basálticas, para efetuar a remineralização de seus solos.

Nesse sentido, esse trabalho parte da hipótese que o uso de remineralizadores aumenta a fertilidade dos solos, favorece o crescimento das espécies vegetais e amplia o sequestro de CO₂ em SAFs. O objetivo do trabalho é avaliar se o uso desses insumos aplicados (ou não) na implantação de quatro SAFs contribuiu com a melhora de parâmetros químicos do solo, com o desenvolvimento dos SAFS e na captura de CO₂.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido buscando-se comparar duas formas de manejo de solo (com “SAFs” e “testemunhas”). As áreas estudadas consistiram de quatro módulos de sistemas agroflorestais, implantadas em 2013, no Distrito Federal, e quatro áreas adjacentes (testemunhas sem SAF e sem remineralização, sob o mesmo tipo de solo e histórico). Em 2017, ano da coleta de dados, as glebas possuíam três anos de implantação. As áreas localizam-se em Brazlândia (Sítio Pinheiro), denominada como ÁREA 1, no Lago Oeste, ÁREA 2 e 3 (Sítio Raiz e Semente, respectivamente) e ÁREA 4 (Fazenda Eloflorestal Inkora), em Planaltina.

Todas as áreas estão inseridas no Bioma Cerrado, apresentam solos do tipo Latossolo (EMBRAPA, 2013), clima com duas estações bem definidas (seca no inverno e úmida no verão) e relevo levemente inclinado (máximo 1.5 metros de desnível). Os sistemas de manejo diferem, parcialmente, quanto às espécies arbóreas e herbáceas cultivadas. No que se refere ao manejo da fertilidade do solo, verificou-se que dos quatro SAFs, apenas um (ÁREA 1) não utilizou remineralizadores de solo. A principal forma de aporte externo de nutrientes, nas áreas 2 e 3, foi um remineralizador denominado REMAX e na área 4, o MB-4.

O REMAX deriva de um calcoxisto com xistosidade marcada pela alternância de muscovita ($KAl_2(Al,Si_3)O_{10}(OH)_2$) e clorita ($Mg_5Al(AlSi_3O_{10})(OH)_8$), intercalados com cristais de calcita ($CaCO_3$), dolomita ($CaMg(CO_3)_2$) e quartzo (SiO_2). A soma dos cátions básicos principais (expressos como CaO, K_2O e MgO), declarada pela empresa que detém o registro, está entre 21,08 % e 25,4 %. O remineralizador MB-4 é composto por uma mistura de rochas (biotita-xisto e serpentinito), quimicamente representado por uma composição multinutrientes (Souza, 2008). A granulometria do Remax atende ao estabelecido na IN 05/2016. O segundo produto não possui registro no MAPA. A Tabela 1 apresenta a suas composições químicas médias.

Tabela 1 – Análise dos remineralizadores

	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	MgO	K2O	IN 05/16	P2O5	Mn	Cu	Co	Zn	S
Remix**	43,7	3,6	8,35	6,48	7,39	8,5	22,39	2,14	-	20	-	60	-
MB4***	39,7	7,1	6,9	5,9	17,8	0,8*	23,78	0,1	0,1	0,02	0,02	0,03	0,18

* Não alcança o mínimo de 1% de K2O, estabelecido na IN nº 05/2016

**<https://www.remax-agricola.com/>

***<http://mibasa.agenciafish.webfaccional.com/produto/mb4/17/>

As áreas foram estudadas em duas estações/épocas do ano (verão e inverno), consideradas como repetições. A estrutura amostral, portanto, seguiu um esquema fatorial aninhado 2x4 (dois tipos de manejos em quatro áreas distintas), sendo os efeitos das particularidades de cada SAF desdobrados. Esta estrutura amostral permitiu estabelecer duas comparações principais de interesse: (i) avaliar os SAFs quanto aos parâmetros químicos de solo, em relação ao manejo “sem SAF”; (ii) comparar os SAFs quanto à capacidade de promoverem tanto o crescimento de plantas, quanto melhorias em parâmetros químicos do solo. Neste último caso, com especial interesse na comparação entre os SAFs que receberam remineralizadores e o SAF que não recebeu este insumo (Área 1). Amostras compostas de solo (verão e inverno) foram coletadas, na camada de 0 a 20 cm, homogêneas, secas ao ar e tamisadas em peneira com malha de 2 mm de abertura. Avaliou-se a disponibilidade dos nutrientes P, K, Ca e Mg.

O crescimento das plantas foi avaliado pelo monitoramento do diâmetro a altura do peito (DAP) de dez indivíduos não bifurcados, de três espécies-chaves em cada SAF: abacate (*Persea americana*), presente nas ÁREAS 1, 2, 3, 4; baru (*Dipteryx alata*), presente na ÁREA 4, café (*Coffea arabica* L.), nas ÁREAS 1, 2, 3, eucalipto (*Eucalyptus Spp*), ÁREAS 2, 3; jaca (*Artocarpus heterophyllus*), na ÁREA 1 e jatobá (*Hymenaea sp*), ÁREA 4. Optou-se em utilizar o nome do fruto para discriminar a espécie em análise, em acordo com o interesse econômico e agrônomo de cada sistema. Para a estimativa da fixação de dióxido de carbono, no período, seguiu-se a metodologia desenvolvida pelo ICRAF (*Centre for Research in Agroforestry*), adaptada por Arevalo et al. (2002).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando as análises de parâmetros de solo, houve interação entre os efeitos dos manejos e das áreas para a maioria dos parâmetros avaliados. Os valores de F, da ANOVA on ranks, indicaram diferenças significativas entre os manejos estudados (“SAFs” e “testemunha”), mas estas diferenças ocorreram de forma variável para cada uma das áreas estudadas. Exceto pelos parâmetros ferro disponível, cobre disponível, acidez potencial (H+Al) e matéria orgânica (MO), todos os demais parâmetros de solo avaliados apresentaram diferenças significativas entre as áreas ou manejos avaliados. De um modo geral, a disponibilidade dos macronutrientes P, K, Ca e Mg foi afetada positivamente pelo manejo agroflorestal, em relação às suas respectivas testemunhas, com destaque para a ÁREA 3 (Figura 1). Os incrementos médios nos teores de P e K no solo, foram de 144,7 % e 65,2 %, respectivamente. Além disso, a estimativa do contraste (\hat{C}_1) evidenciou que há um aumento na disponibilidade dos macronutrientes nos SAFs, em relação às testemunhas, considerando as médias das ÁREAS 2, 3 e 4. O mesmo padrão não é observado para a área 1, única área que não recebeu adubação com remineralizadores. A disponibilidade de micronutrientes no solo também foi afetada positivamente, pelos manejos com SAF.

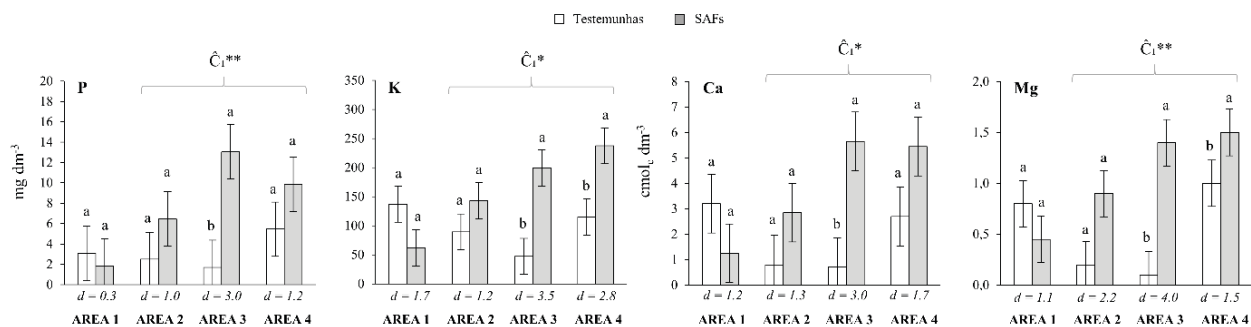


Figura 1. Disponibilidade de P (A), K (B), Ca (C) y Mg (D) no solo em função dos manejos “SAF” e “testemunhas”, nas quatro áreas. Área 1: SAF sem remineralizador. Áreas 2, 3 e 4: SAF com remineralizadores. Valores correspondentes das médias das amostras, nas diferentes épocas em cada área. As médias (\pm error padrão do estudo) seguidas por uma mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste “Tukey on ranks” a 5% de probabilidade de erro. C_1 : SAF com remineralizadores vs testemunhas. Effect size d de Cohen (d) para as variáveis na escala não transformada.

Os parâmetros químicos do solo pH, CTC (T) e saturação por bases (V) foram afetados, positivamente, pelo manejo agroflorestal com remineralizadores, em relação às suas respectivas testemunhas, como evidenciado pela estimativa do contraste (\hat{C}_1). Este comportamento não ocorreu na ÁREA 1, onde o SAF não recebeu adubação com remineralizadores de solo. Os SAFs das ÁREAS 2, 3 e 4 (com remineralizadores) resultaram em um incremento médio no pH e na CTC (T) de 16,4 e 24,6 %, respectivamente, em relação às respectivas testemunhas.

Considerando o efeito conjunto (análise multivariada) das principais variáveis de solo afetadas pelos preditores em estudo, os SAFs com remineralizadores afetaram positivamente a qualidade química do solo (Figura 2). No entanto, a ÁREA 1 (sem adição de remineralizador) apresentou comportamento inverso. Este fato reforça a importância do manejo da fertilidade do solo também com fontes minerais em sistemas agroflorestais. Portanto, os remineralizadores apresentam-se como mais uma opção a ser integrada às práticas de manejo dos sistemas agroecológicos de produção (Carvalho et al., 2018).

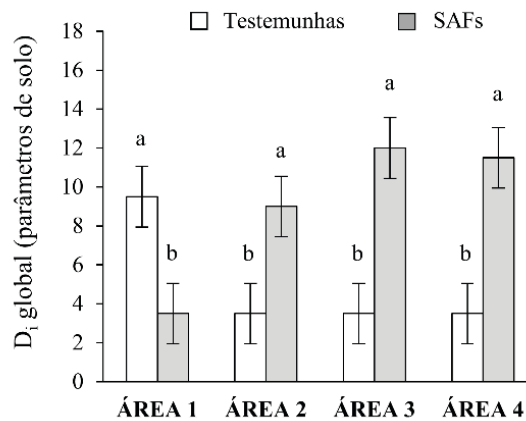


Figura 2. Posições do índice *Desirability* global dos parâmetros P, K, S, Ca, Mg, B, Mn e pH do solo (A), de acordo com o manejo “SAF” ou “Controle” em quatro áreas de estudo. Área 1: SAF sem remineralizadores. Áreas 2, 3 e 4: SAF com remineralizadores. Valores correspondentes à média de duas amostragens em momentos distintos em cada área. As médias (\pm erro padrão do estudo) seguidas da mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste F on ranks a 5 % de probabilidade de erro.

Ao se tratar e analisar a média de crescimento das três espécies-chaves dos sistemas, constatou-se que as ÁREAS 2, 3 e 4 apresentaram maior DAP que o SAF da ÁREA 1, no último estágio avaliado. Este fato reforça o efeito positivo dos remineralizadores na promoção do crescimento das plantas, possivelmente, em função das melhorias promovidas no solo. Significa dizer que o uso de remineralizadores pode não apenas contribuir para o sequestro de CO₂ atmosférico (devido à maior oferta de multinutrientes, solubilizados a partir dos processos de biolixiviação/intemperismo, onde os cátions liberados pelas rochas são estabilizados por ânions carbonato), quanto favorecer o incremento nas taxas fotossintéticas das plantas (Figura 3)

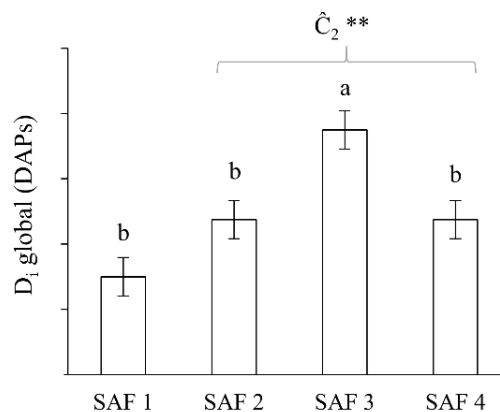


Figura 3. Postos do índice global *Desirability* (D_i) dos diâmetros das espécies arbóreas avaliadas (abacate, café, eucalipto, jaca, baru e jatobá), nos diferentes SAFs estudados. Valores correspondentes à média truncada de dez plantas em cada área. Médias (\pm erro padrão do estudo) seguidas por uma mesma letra, dentro de cada área, não diferem entre si pelo teste "SNK on ranks" a 5 % de probabilidade de erro. \hat{C}_2 : SAFs com remineralizadores vs SAF 1.

Complementarmente, pode-se supor que a amplitude entre o DAP de uma área para a outra, ou mesmo dentro da mesma área, esteja relacionada à qualidade do solo, aos tratamentos culturais, à espécie vegetal, ao material genético, à insolação, a incidentes (como quebra no manejo da poda), além da época de plantio. Foi possível observar que, com exceção do *Coffea sp.*, que teve alguns indivíduos sem ganho de DAP, todas as demais espécies monitoradas apresentaram desenvolvimento positivo quanto ao crescimento. Outros fatores que possivelmente influíram nos resultados relacionados ao desenvolvimento/crescimento das espécies podem estar atrelados à forma de manejo, bem como aos aspectos de instalação das áreas. Porém, ainda que se considere estes fatores, o conjunto de resultados obtidos permite sugerir que a ausência de fertilização mineral possa ser o principal fator de desempenho menos significativo, verificado na ÁREA 1, quando comparado aos outros três que receberam estes materiais.

CONCLUSÕES

Essa pesquisa buscou contribuir com o entendimento acerca dos aspectos nutricionais do solo, sob o uso de sistemas agroflorestais associados à aplicação de remineralizadores. Ainda que não se trate de um experimento sob condições controladas, os dados revelados sugerem que os remineralizadores tiveram um efeito potencializador, nas três áreas que receberam esse insumo na sua implantação, já que houve maior alteração na química do solo, o que, possivelmente, potencializou o crescimento vegetal e, conseqüentemente, a captura de CO_2 atmosférico.

No que se refere aos macronutrientes P, K, Ca e Mg, verificou-se que o manejo agroflorestal e a presença de remineralizadores afetou positivamente a disponibilidade desses nutrientes,

quando se compara com suas respectivas testemunhas, em especial, os teores de P e K no solo, que apresentaram médias maiores nas áreas 2, 3 e 4.

Com relação às taxas de crescimento das espécies-chaves dos sistemas, pode-se, igualmente, verificar que os maiores DAPs foram encontrados nos SAFs 2, 3 e 4, o que reforça o papel dos remineralizadores como uma fonte importante de multinutrientes, já que favoreceu um desempenho mais expressivo das plantas. O crescimento mais expressivo das espécies-chaves, nessas áreas, implicou no incremento das taxas fotossintéticas das plantas, contribuindo, assim, para o sequestro de CO₂ atmosférico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AREVALO, L. A.; ALEGRE, J. C.; VILCAHUAMAN, L. M. Metodologia para estimar estoque de carbono em diferentes sistemas de uso da terra. Colombo: Embrapa Florestas, Documentos 73, 2002.
- BEERLING, D. J.; KANTZAS, E. P.; LOMAS, M. R.; WADE, P.; EUFRASIO, R. M.; RENFORTH, Phil; SARKAR, B.; ANDREWS, M. G.; JAMES, R. H.; PEARCE, C. R.; MERCURE, J-F; POLLITT, H.; HOLDEN, P. B.; EDWARDS, N. R.; KHANNA, M.; KOH, L.; QUEGAN, S.; PIDGEON, N. F.; JANSSENS, I. A.; HANSEN, J.; BANWART, S. A Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature*. V. 583. 2020 DOI link: <https://doi.org/10.1038/S41586-020-2448-9>
- BROWN, S.; LUGO, A. E.; CHAPMAN, J. Biomass of tropical tree plantations and implications for the global carbon budget. *Canadian Journal of Forest Research*, v.16, n.2, p.390-394, 1986.
- CARVALHO, A. M. X.; CARDOSO, I. M.; THEODORO, S. H.; Souza, M. E. Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica? In: Cardoso, I. M.; Fávero, C. (Org.) Solos e agroecologia. Coleção Transição Agroecológica. V 4. Ed. Embrapa, pp. 101-128. 2018
- CHURCHMAN, G. J.; SINGH, M.; SCHAPEL, A.; SARKAR, B.; BOLAN, N. Clay minerals as the key to the sequestration of carbon in soils. *Clays and Clay Minerals*, 68, 135–143. 2020 DOI: [10.1007/s42860-020-00071-z](https://doi.org/10.1007/s42860-020-00071-z)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.
- KING, Kenneth F. e CHANDLER, Trevor. The wasted lands: The program of work of the International Council for Research in Agro forestry (ICRAF). Nairobi, Kenya. 1978
- LEONARDOS, O. H.; THEODORO, S. H. Fertilizing tropical soils for sustainable development. In: FORMOSO M.L.L. and Cerri C.C. (eds.) Proceedings International Workshop on Tropical Soils, RJ. Anais da ABC. p: 143–153. 1999.
- MBOW, C.; PETE, S.; DAVID, S.; LALISA, D.; BUSTAMANTE, M. Achieving mitigation and adaptation to climate change through sustainable agroforestry practices in Africa, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 6:8–14, 2014.
- NAIR, Ramachandran. Introduction to Agroforestry. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 1993.
- RAMOS, C. G.; MEDEIROS, D. S.; GOMEZ, L., OLIVEIRA, L. F. S., SCHNEIDER, I. A. H., KAUTZMANN, R. M. Evaluation of Soil Re-mineralizer from By-Product of Volcanic Rock Mining: Experimental Proof Using Black Oats and

Maize Crops. *Natural Resources Research*, 29(3), pp. 1583-1600. 2020. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09529-x>

SOARES, G. J. (2018) Influência da rochagem no desenvolvimento de sistemas agroflorestais e na captura de dióxido de carbono atmosférico. Dissertação de Mestrado (PPG-MADER/UnB. 99 p. <https://repositorio.unb.br/handle/10482/33088>

STEENBOCK, W.; SILVA, L. C.; SILVA, R. O.; RODRIGUES, A. S.; PEREZ-CASSARINO, J.; FONINI, R. Agrofloresta, ecologia e sociedade. Kairós, 2013. 422 p. ISBN 978-85-63806-15-4

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Acad. Bras. de Ciências*. Rio de Janeiro/RJ. Vol.78 no.4 pp. 715 – 720. 2006. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652006000400008>

THEODORO, Suzi H.; LEONARDOS, Othon H.; ROCHA, Eduardo L.; MACEDO, Iris; REGO, Kleysson. Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the Tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *Acad. Brasil. Ciênc.* 85(1):23-34. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652013000100003>

ZANINI, Anani M. Estoque de carbono em restaurações florestais com 5 anos de idade na Mata Atlântica/Anani Morilha Zanini. Dissert. de Mestrado. Piracicaba. USP/ESALQ “Luiz de Queiroz”. 2018. 88 p http://www.lerf.eco.br/img/publicacoes/2019_Disserta%C3%A7%C3%A3o_Nani.pdf

TEMA 3

Potencialidades de novos produtos

AGROMINERAIS DO GRUPO SERRA GERAL NO RIO GRANDE DO SUL

MAGDA BERGMANN¹; ANDRÉA SANDER^{1,3}; CARLOS AUGUSTO POSSER SILVEIRA²;

⁽¹⁾ Serviço Geológico do Brasil – CPRM - Rua Banco da Província, 105, CEP 12.227-010, Porto Alegre, RS. E-mail: magda.bergmann@cprm.gov.br; andrea.sander@cprm.gov.br;

⁽²⁾ Embrapa Clima Temperado. Rodovia BR-392, Km 78, 9º Distrito, Monte Bonito Caixa Postal 403, CEP: 96010-971 - Pelotas, RS. E-mail: augusto.posser@embrapa.br;

⁽³⁾ Instituto Tecnológico em Micropaleontologia, ITT FOSSIL, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Av. Unisinos, 950, CEP 91.540-000, São Leopoldo, RS.

Resumo:

O Grupo Serra Geral integra a Província Ígnea Paraná-Etendeka, uma das mais extensas do planeta. Suas rochas contam com ampla distribuição em área nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil, estendendo-se pelos países fronteiriços. Predominam rochas basálticas (basaltos, andesitos basálticos e andesitos), com dacitos subordinados; respectivamente, fontes de multinutrientes (Ca, Mg, Si, Fe, Mn) e de K (Ca), Fe e Si. Basaltos amigdaloides portam cavidades à zeolitas, em percentual de até 30%, e sua espessura e extensão em área caracterizam jazidas em potencial. O trabalho apresenta parte dos resultados de projeto do SGB-CPRM, com dados litoquímicos visando a caracterização de rochas como agrominerais.

Palavras-chave: Grupo Serra Geral da Bacia do Paraná; Remineralizadores de Solos; Zeolitas Rio Grande do Sul

INTRODUÇÃO

O projeto Avaliação do potencial agrominerais do Brasil, Grupo Serra Geral no Rio Grande do Sul (BERGMANN (2021) trata das rochas vulcânicas da metade norte do estado, e integra o programa do Serviço Geológico do Brasil- CPRM “*Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil*”, que pesquisa minerais e rochas para emprego em remineralização e condicionamento de solos, em todo o território nacional.

O aumento da produtividade nas terras agriculturáveis pode ser uma resposta à pressão sobre as áreas florestais brasileiras, e, também, sobre o bioma cerrado. Em função da geodiversidade

do território brasileiro, grande parte dos estados têm disponibilidade de agrominerais próximos a áreas de produção agrícola, embora em diferentes graus. Este fato, assim como a condição de clima temperado a tropical do país, que favorece o intemperismo, aponta para alternativas à elevada dependência externa de insumos para fertilizantes, que promove forte impacto na balança comercial do país.

O Grupo Serra Geral (GSG) da Bacia do Paraná, de idade do Eocretáceo, constitui-se na parte brasileira da província de basaltos continentais Paraná-Etendeka, com contraparte na região da Namíbia, na África. Suas rochas estão distribuídas pelas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, estendendo-se pela Argentina, Uruguai e Paraguai. Predominam, no Brasil, as rochas basálticas, e dacitos e riolitos compõem 5% em área das rochas vulcânicas (NARDY et al. 2008), aflorando, principalmente, nos planaltos do Rio Grande do Sul (RS), de Santa Catarina e do Paraná.

Finos de britagem de basaltos e dacitos vêm sendo usados na agricultura familiar e na produção de alimentos orgânicos nas regiões sul e sudeste do Brasil, e, ultimamente, também na agricultura extensiva, no Centro-Oeste.

Em especial no RS, a produção de areia de brita está crescendo. Isto ocorre tanto pelo declínio da lavra de areia em recursos hídricos, como pelo fato de que a metade norte do estado, fortemente industrializada, é carente de areias com composição e granulometria própria para emprego em concreto, em função do predomínio de terrenos vulcânicos.

O processo de obtenção de areia de brita, em moinhos VSI (Vertical Shaft Impactor), aumenta muito a geração de finos de britagem na indústria de agregados, em particular, no caso de rochas finas como basaltos e dacitos, que eventualmente podem também estar argilizadas. O excedente de finos, com possibilidade de aproveitamento enquanto sub-produtos da mineração de agregados, já mobiliza vários empreendimentos em torno da obtenção de sub-produtos. Enquanto insumos agrícolas, as rochas basálticas podem ser consideradas fontes de Ca, Mg e Si e portam teores declaráveis dos micronutrientes Fe e Mn, enquanto os dacitos são fontes de K, Ca e Si, com teores igualmente declaráveis de Fe. Tanto basaltos como dacitos do GSG, em sua grande maioria, enquadram-se nos critérios da IN MAPA 05/2016 quanto a teores de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT), com a ressalva de que, para uma parte das amostras, não estão disponíveis análises de Hg (BERGMANN et al. 2014; MARTINAZZO et al. 2020).

Outros agrominerais de interesse no GSG, no RS, são zeolitas, em rochas amigdaloides que compõem lobos de composição basáltica, e calcita, em brechas de crosta superior de derrames. Ambas as ocorrências apresentam teores, espessura e extensão que podem constituir jazidas.

O trabalho apresenta a caracterização litoquímica e mineralógica das rochas com potencial para agrominerais, setorizando sua distribuição ao longo da metade norte do RS, em blocos Litoral, Central, Fronteira Oeste e Região Norte (Figura 1).

MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento de campo compreendeu visitas a afloramentos e a 34 lavras de agregados para a construção civil, com coleta de amostras de rochas, finos de britagem e zeolitas. A amostragem para ensaios agronômicos contou com participação de agrônomos da Embrapa Clima Temperado, em plano de trabalho conveniado com esta entidade.

As análises litoquímicas foram realizadas pelo Laboratório ACME (Canadá), pelos métodos plasma indutivo acoplado (ICP), para óxidos maiores e por espectrometria de massa (ICP-MS), para oligoelementos, em um total de 86 amostras, sendo 48 rochas basálticas, 19 rochas vulcânicas ácidas e 19 basaltos amigdaloides e brechas. Resultados de litoquímica de levantamento anterior (NAKAMURA et al. 2003) complementam o banco de dados.

Zeolitas puras foram analisadas em difratômetro SIEMENS, modelo D5000, no Instituto de Geociências da UFRGS, e no Laboratório de Sensoriamento Remoto Geológico e Espectroscopia Mineral da CPRM, por espectroscopia de reflectância (116 amostras), com emprego do espectrorradiômetro ASD-FieldSpec-3 Hi-Resolution.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O **Bloco Litoral** compreende as formações Torres e Vale do Sol (ROSSETTI et al.2018), com lobos de basaltos amigdaloides, e derrames de andesitos basálticos, respetivamente, sobrepostas por derrames dacíticos da Formação Palmas.

Resultados litoquímicos para 23 amostras (Tabela 1), entre as quais sete basaltos, três dacitos, três andesitos, e 10 andesitos basálticos, mostram que 80% das rochas cumprem os critérios da Soma de Bases (SB) estabelecidos em BRASIL (2016), com valores entre 7,79 e 29,23%, e 91% das amostras têm $K_2O \geq 1\%$.

A disponibilidade de finos de britagem, em lavras de agregados, é restrita no litoral, que conta com poucos empreendimentos explorando rochas das formações Vale do Sol e Palmas, enquanto fonte de agregados. Já os lobos de basaltos amigdaloides do tipo "S", da Fm. Torres, apresentam no bloco zeolitas teores que podem alcançar 30%, com predomínio das espécies laumontita, escolecita e heulandita, nesta ordem. Saibreiras e lavras de material para cascalho de pavimentação exploram os lobos entre Osório e Morro Redondo. Neste último local, a lavra Britel (Figura 2A) explora na bancada inferior o topo da Fm. Torres, e acima, o primeiro derrame Vale do Sol (Figura 2B), de composição andesítica (K_2O 3,35%). A blendagem dos finos de britagem poderia originar um agromineral misto de basalto e andesito, com zeolitas.

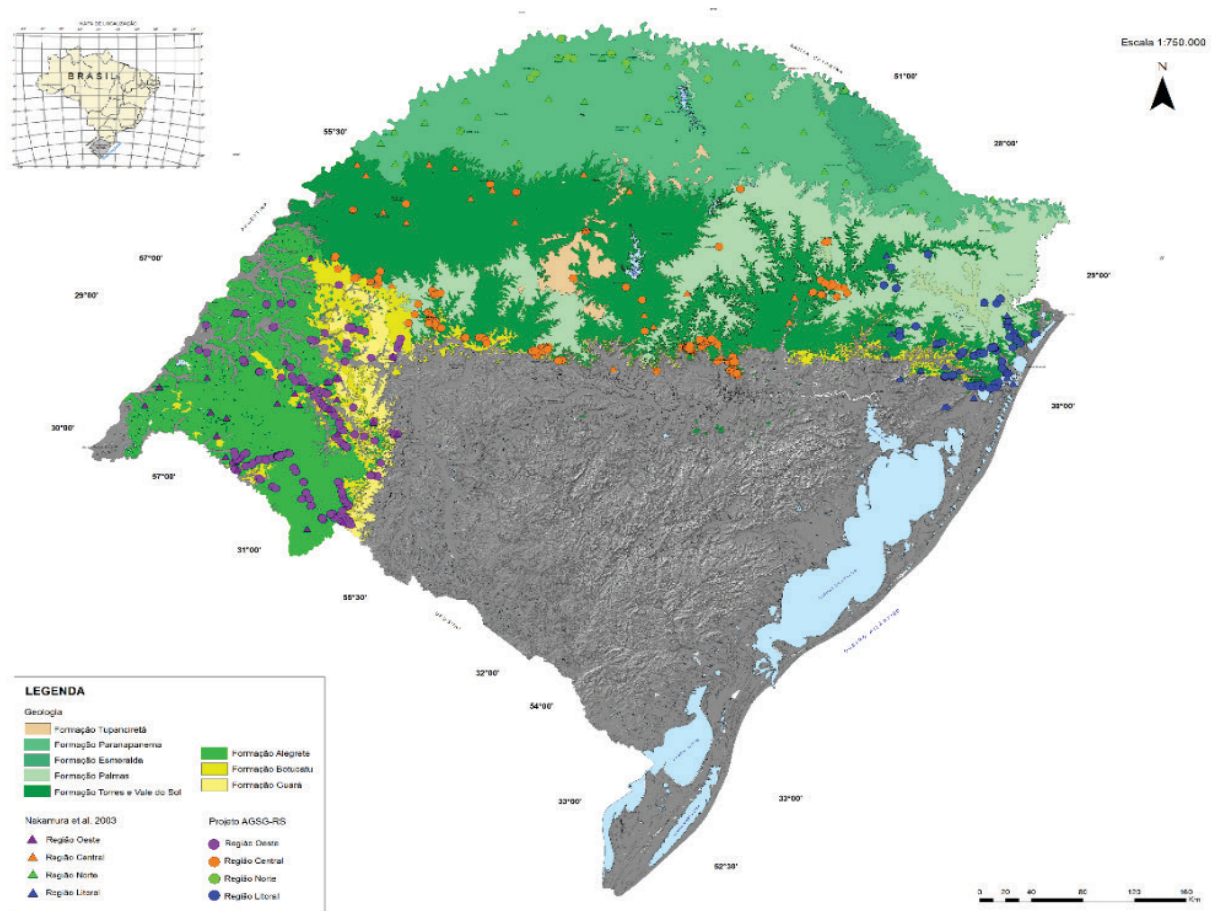


Figura 01 - Esquema litoestratigráfico do grupo Serra Geral no Rio Grande do Sul e distribuição dos pontos amostrados. Adaptado do Mapa Geológico do Rio Grande do Sul, em escala 1:750.000 (CPRM), utilizando a concepção litoestratigráfica de Rossetti et al. 2018 quanto às formações Torres, Vale do Sol, Palmas e Esmeralda.

O **Bloco Central** (Figura 1) apresenta esquema litoestratigráfico semelhante ao descrito para a região do litoral norte do RS, e concentra a maior parte das rochas vulcânicas ácidas. Na porção sul do bloco, camadas delgadas de quartzo arenitos intertrápicos intercalam os lobos da Fm. Torres. A pilha de lobos é superposta por derrames espessos de morfologia *rubbly-pahoehoe* da Fm. Vale do Sol, por sua vez, capeados pelos derrames ácidos da Fm. Palmas.

Este bloco conta com resultados litoquímicos para 84 amostras (Tabela 1): 15 basaltos, 42 dacitos, nove andesitos, 16 andesitos basálticos e dois riolitos. Quanto aos critérios da IN MAPA 05/2016, as amostras têm SB entre 2,78 e 18,69, sendo que 45% das rochas mostram $SB \geq 9\%$ e 91% das amostras analisadas apresenta $K_2O \geq 1\%$.

Cabe observar que as rochas com $SB < 9\%$ correspondem aos dacitos, que ocupam quase a metade da superfície delimitada para o Bloco Central. Nessas rochas, o teor mais baixo de MgO

reflete a tendência litoquímica da diferenciação magmática, e embora os dacitos apresentem teores mais altos de K_2O (2,11-9,09%), apenas três amostras cumprem o critério de SB, no bloco Central. Tratam-se dos riódacitos vítreos mineralizados, a ametista da região de Caxias do Sul-Nova Pádua (Figura 2C), que portam os maiores valores de K no bloco, estando disponíveis em descartes de pequenas lavras garimpeiras (Bergmann et al 2017). Nove basaltos deste domínio apresentam teores de Cd entre 10,8 e 15,1 ppm, superiores ao permitido pela norma.

O Bloco Central conta com vários polos de produção de agregados, como Santa Maria, Santa Cruz do Sul, Soledade e Bento Gonçalves, entre outros.



Figura 2 (A) Pedreira Britel, Morro Redondo, município de Osório. Lobos da Formação Torres na bancada inferior, superpostos por derrame andesítico espesso da Formação Vale do Sol. (B) Detalhe da bancada inferior, contato de lobos “P” inferior, e “S”, com basalto amigdalóide. (C) Microfotografia em luz natural de riódacito vítreo da região de Caxias do Sul. Notar fenocristais de feldspato alcalino em matriz devitrificada

Tabela 1 - Rochas tratadas nos blocos Litoral, Central, Fronteira Oeste e Região Norte, com litotipos discriminados, faixas de teores e médias das principais bases nutrientes.

Blocos GSG	Nº total amostras	Tipo de rocha						Litoquímica (Faixa de teor, %) - Média de todos os tipos de rochas dentro do Bloco											
		Bas ¹	Dac ²	And ³	And Bas ⁴	Riol. ⁵	Bas. Traq ⁶	CaO			MgO			K ₂ O			SB		
								LI	LS	Média	LI	LS	Média	LI	LS	Média	LI	LS	Média
Litoral	23	7	3	3	10		2,66	10,80	6,73	1,05	18,92	9,99	0,30	3,82	2,06	7,79	29,23	18,51	
Central	84	15	42	9	16	2	0,63	10,5	5,58	0,32	7,24	3,78	0,66	9,09	4,88	2,78	18,69	10,70	
Fronteira Oeste	30	10		3	17		4,78	10,53	7,66	2,20	7,04	4,62	0,47	2,87	1,67	9,83	18,00	13,92	
Região Norte	207	140		2	58	7	4,54	12,82	8,68	1,91	10,12	6,02	0,20	3,21	1,71	10,02	24,89	17,46	
Total	344	172	45	17	101	2													
Média							3,2	11,2	7,16	1,4	10,8	6,10	0,4	4,7	2,58	7,6	22,7	15,15	

¹ Basalto; ² Dacito; ³ Andesito; ⁴ Andesito basalto; ⁵ Riólito; ⁶ Basalto traquítico; ⁷ Limite inferior; ⁸ Limite superior

O pacote da Formação Torres, que alterna lobos P e S com basaltos amigdaloides, é contínuo ao longo de todo o setor sul do bloco, e atinge 240 m, no perfil Vila Formosa-Herveiras, ao longo da rodovia RSC 471, constituindo-se em importante prospecto para zeolitas. Predominam nos lobos da Formação Torres: estilbita, heulandita, esolecita e mordenita. Na região de Santa Cruz do Sul, domos de composição andesítica mostram contatos brechados com rochas da Formação

Torres, sendo as brechas mineralizadas à zeolitas estilbita. Ainda, as brechas de crosta superior dos derrames da Formação Vale do Sol apresentam calcita como cimento.

O **Bloco Fronteira Oeste** (Figura 1) apresenta litoestratigrafia distinta dos demais terrenos do GSG, a leste, e corresponde à Formação Alegrete.

Neste domínio, foram cartografados doze derrames de composição basáltica à andesítica, dos quais, quatro são portadores de mineralizações de ágata e apresentam grande potencial para a gema ametista. A região conta com oito garimpos, cinco dos quais, ativos, no município de Santana do Livramento, que exploram ágatas em níveis rasos dos depósitos. No entanto, a produção de ametista, em níveis inferiores dos depósitos, pode aportar rochas de composição andesítica a andesito-basáltica, além de brechas de topo a calcitas e zeolitas em pilhas de descartes, a exemplo da vizinha Província Mineira Los Catalanes, no Uruguai (Figura 3A). Parte dos derrames produtores, no Uruguai, são contínuos no Brasil. No bloco, encontram-se também lavras para agregados, que são implantadas, na maioria, em basaltos e andesito-basaltos de corpos do tipo *sill*.

A litoquímica, neste domínio, conta com análises para um total de 30 amostras (Tabela 1), das quais 10 são basaltos, 3 são andesitos e 17 andesitos basálticos. As amostras têm SB entre 9,83 e 18% e 100% das rochas cumprem o critério IN MAPA 05/2016, enquanto 71% apresenta $K_2O \geq 1\%$, sendo comum nos andesitos mineralizados teores de K_2O entre 2,5 e 2,7%.

Uma das amostras de basalto deste domínio apresenta 14 ppm de As, associado à pintas de sulfeto, próximo ao limite da norma, que é de 15 ppm. As brechas de topo dos derrames de morfologia *rubbly-pahoehoe* constituem outro prospecto importante para agrominerais, neste bloco, e ocorrem em todos os derrames portadores de gemas em geodos. Os teores de CaO, nas brechas, atingem 12-19% e MgO 3,0-6,4%, com calcita e zeolitas (heulandita e estilbita) ocorrendo em crustificações e cavidades de clastos de basalto amigdalóide (Figura 3B).

Por fim, o **Bloco Região Norte** (Figura 1) corresponde, em parte, à região do Alto Uruguai, onde predominam terrenos atribuídos à Formação Paranapanema, com basaltos e andesitos basálticos em derrames de morfologia *pahoehoe* e *rubbly-pahoehoe*. As lavras de agregados concentram-se em torno de cidades como Três Passos (Figura 3C), Tenente Portela e Frederico Westphalen, entre outras. O bloco conta com resultados litoquímicos para 207 amostras de rochas, sendo elas 140 basaltos, dois andesitos, 58 andesitos basálticos, e sete basaltos traquíticos. Quanto aos critérios da IN MAPA 05/2016, as amostras têm SB entre 10 e 24,89, todas cumprindo o critério de $SB \geq 9\%$. 75% das amostras enquadram-se como remineralizadores de solos, apresentando $K_2O \geq 1\%$. Quatorze amostras de basalto apresentaram teores impeditivos de Cd (11-15,4 ppm), sendo 10 ppm o limite máximo permitido pela IN MAPA 05/2016. Este EPT está provavelmente contido na titano-magnetita, mineral da família dos espinélios e relativamente estável em solos, embora sujeito à oxidação.



Figura 3 (A) Galerias de lavras de ametista no Distrito Mineiro Los Catalanes, UY, com rejeitos de rochas andesíticas. (B) Brecha de crosta superior do derrame *rubbly pahoehoe* D7, da Formação Alegrete., Município de Santana do Livramento. Notar cimento calcítico em cor branca. (C) Pedreira em basalto, nos arredores da zona urbana de Três Passos. Notar juntas colunares decimétricas a sub-métricas indicando derrame espesso.

CONCLUSÕES

A maioria das rochas vulcânicas do Grupo Serra Geral, no RS, se enquadra nos critérios da IN MAPA 05/2016, sendo os basaltos portadores de Ca (CaO 5,67-10,78%), Mg (MgO 2,24-7,24%) e Si, além de micronutrientes (Mn, Fe, Ni, Cu, Zn, Cr). Alguns basaltos andesíticos e andesitos têm, ainda, potencial enquanto fontes de K (K₂O 2,19-5,05%). Os dacitos apresentam teores expressivos de K₂O (2,11-9,09%), Ca e Si, embora, na grande maioria, requeiram mistura com outras rochas para cumprir a SB mínima prevista na IN MAPA 05/2016. As áreas de cultivo agrícola estão distribuídas por todo o estado do RS, e concentram-se, marcadamente, nos blocos Central e Região Norte. As diversas regiões da metade norte do RS contam com esquema litoestratigráfico distinto, e o bloco Fronteira Oeste concentra a maior parte das rochas andesíticas, enquanto os blocos Central e Litoral detêm as rochas dacíticas. Todos os blocos detêm rochas próprias para remineralização e condicionamento de solos.

Zeolitas ocorrem em basaltos amigdaloides, podendo ultrapassar 30% em volume, caracterizando potenciais jazidas, registradas entre os blocos Litoral N e Central, incluindo a Região Metropolitana de Porto Alegre, e contam com teste de retenção de amônia em processo de compostagem de dejetos de suínos (AITA; GIACOMINI 2016).

Dentro de novas estratégias para remoção de CO₂ da atmosfera, o uso de basaltos, portadores de silicatos de Ca e Mg, desponta, mundialmente, atendendo ao conceito de “Enhanced Weathering”, sendo esta uma rota tecnológica que é favorecida em climas tropicais e sub-tropicais.

Trabalhos recentes citam como essenciais a aplicação da técnica às regiões de agricultura intensiva, que contam com rochas basálticas e infra-estrutura de transportes, além da produção de finos de britagem (LEFEBVRE et al. 2019, BEERLING et al. 2018, 2020). Estas

condições são amplamente preenchidas pela geologia e pela economia das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AITA, C.; GIACOMIN, D. A. Uso de remineralizadores no processo de compostagem de dejetos líquidos de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 3, p.373-386. 2016, Pelotas. Resumos...Pelotas Embrapa Clima Temperado. Embrapa Cerrados.2016.
- BEERLING, D.J., LEAKE, J.R., LONG, S.P. et al. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants* 4, 138–147 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>
- BEERLING, D. J; KANTZAS, E. P; LOMAS, M. R. et al. Potential for large-scale CO₂ removal via enhanced rock weathering with croplands. *Nature* 583, 242–248 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2448->
- BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; MARTINAZZO, R.; GRECCO, M. F. Considerações sobre o potencial de uso agronômico das rochas vulcânicas da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná. In: HARTMANN, Léo Afrâneo; SILVA, Juliano Tonezer da; Donato, Maciel (Org.). *Tecnologia e Inovação em Gemas, Joias e Mineração*. Porto Alegre: IGEO/UFRGS. p.119-126. 2014
- BERGMANN, M. Avaliação do potencial agromineral do Brasil, Grupo Serra Geral da bacia do Paraná no Rio Grande do Sul. 2021. <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/22373>.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. D.O.U., 14/03/2016 – Seção 1. 2016.
- LEFEBVRE D., GOGLIO P., WILLIAMS A., et al. Assessing the potential of soil carbonation and enhanced weathering through Life Cycle Assessment: A case study for Sao Paulo State, Brazil *Journal of Cleaner Production* 233, p. 468-481. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.099>
- MARTINAZZO, R.; BERGMANN, M.; SILVEIRA, C. A. P.; BAMBERG, A. L.; TORRES, D. P.; SANDER, A. Micronutrientes e Metais Pesados em Agrominerais: uma Caracterização a partir de Rochas do Escudo Sul-rio-grandense e da Bacia do Paraná. Embrapa Clima Temperado. Série Documentos nº 487.2020.
- NAKAMURA, K., SHIBUIA, A., NASUTA, K., MURAKAMI, T., WILDNER, W., ROMANONO, S. Mineral exploration of the Cu-Ni PGE deposits in the Paraná basin Southern Brazil: phase II. Japan Mining Engineering Center for International Cooperation-JMEC; CPRM-Geological Survey of Brazil, 2003.
- NARDY, A. J. R.; MACHADO, F. B.; OLIVEIRA, M. A. F. As rochas vulcânicas mesozóicas ácidas da Bacia do Paraná: litoestratigrafia e considerações geoquímico-estratigráficas. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, v.38, n.1, p.178-195, 2008.ROSSETTI, L. et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group,Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. 2018. <http://dx.doi.org-/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>
- ROSSETTI, L. et al. Lithostratigraphy and volcanology of the Serra Geral Group,Paraná-Etendeka Igneous Province in Southern Brazil: Towards a formal stratigraphical framework. 2018. <http://dx.doi.org-/10.1016/j.jvolgeores.2017.05.008>

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL AGROMINERAL NO ESTADO DO TOCANTINS - BRASIL

ALESSANDRA ELISA BLASKOWSKI¹ & EMANUELA REIS BROD¹

¹ Serviço Geológico do Brasil - SGB (CPRM), Endereço: Av. Ulysses Guimarães n. 2862, CEP 41213-000, Salvador, BA, alessandra.blaskowski@cprm.gov.br, emanuela.brod@cprm.gov.br

Resumo:

O Projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil - Área Tocantins objetiva identificar materiais com potencial para remineralização e condicionamento de solos, com ênfase em descartes de mineração. Amostras são avaliadas para determinar rochas mais favoráveis, destacando-se aquelas com SB (Soma de Base) adequada, quartzo <25%, sem restrição para EPT (Elementos Potencialmente Tóxicos), e teores significativos de macro e micronutrientes. Entre os resultados, destacam-se as rochas de pedreiras do Polo Gurupi (Pedreiras CMB e Travessão); os garimpos de esmeralda do Polo Monte Santo; os metacarbonatos das pedreiras do Polo Couto Magalhães e Palmeirópolis; rochas metavulcânicas descartes e lavra para ouro, no Polo Porto Nacional/Monte Carmo; metamáficas de descartes de garimpo de gemas, no Polo Palmeirópolis; e os flogopititos/biotititos do Polo de São Valério da Natividade que compõem os finos estocados pela Mineração Rodolita (exportação de granada, gemológica e industrial), rochas também presentes no Garimpo do Schneider. As avaliações apontam que muitas rochas atendem aos critérios do MAPA-IN 05/2016 e podem ser recomendadas para a realização de ensaios agronômicos. Os resultados finais do projeto serão publicados como um Informe de Recursos Minerais, que também contará com Mapas de Potencial Agromineral do Estado.

Palavras-chave: Agrominerais; MATOPIBA; Tocantins; Descartes de Mineração.

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande produtor agrícola e tem na agricultura uma das bases da sua economia, entretanto, para manter seus altos índices produtivos, necessita de uma grande quantidade de insumos. Este é um fator preocupante para o setor agrícola, já que nos últimos anos o País tem ampliado o consumo de insumos e, ao mesmo tempo, teve uma queda significativa na produção de fertilizantes, aumentando sua dependência de insumos importados. Neste contexto, o Serviço

Geológico do Brasil investe em mapeamento e prospecção de agrominerais mediante o *Projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil*, tendo dado início ao levantamento do estado do Tocantins, em 2019. Esta unidade da federação tem destaque por compor a fronteira MATOPIBA da agricultura no bioma cerrado, e o Tocantins desponta como o maior produtor de grãos da região norte do Brasil, sobretudo de soja, arroz, milho e feijão, com uma área plantada de 1,3 milhões de hectares, e produção acima de 4,53 milhões de toneladas (SEAGRO-TO, 2020). Além da avaliação de rochas em unidades geológicas com potencial para uso como agromineral, a pesquisa foca em materiais de descarte de mineração, que podem configurar-se como subprodutos, ao invés de passivo ambiental. Inicialmente, a pesquisa se concentrou na região centro-sul do Tocantins, sendo subdividida em seis polos regionais, de acordo com a localização das lavras visitadas: Monte Santo, São Valério da Natividade, Palmeirópolis, Porto Nacional/Monte Carmo, Polo Gurupi e Couto Magalhães.

MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, foi realizado levantamento bibliográfico que considerou artigos e mapas geológicos, considerando dados litoquímicos, petrográficos e geofísicos. Com base neste levantamento, realizou-se a seleção de unidades litoestratigráficas que portam rochas com potencial para remineralização e condicionamento de solos, denominadas Unidades de Interesse Agromineral (UIA), conforme Blaskowski *et al.* 2016. Após esta etapa, realizou-se o levantamento de dados dos direitos minerários, listando empreendimentos mineiros dentro das UIAs selecionadas, com o objetivo de detectar lavras com material de descarte disponível para avaliação desse estudo. Nas lavras e garimpos visitados durante as duas etapas de campo, realizadas em 2019, nos meses de abril/maio e outubro/novembro, além do levantamento de dados sobre os empreendimentos, foram coletadas amostras para análises (litoquímica, petrográficas e mineralógicas - DRX e MEV), com objetivo de avaliar seu potencial agromineral. Nas frentes de lavra foram coletadas amostras de rocha e, quando disponível, do material britado nas plantas de beneficiamento. Os processos de beneficiamento das mineradoras também foram levantados, para detectar possíveis interferências na produção do material cominuído (pó de brita e/ou descartes de mineração).

A análise litoquímica foi realizada nos laboratórios da SGS - GEOSOL, por Fluorescência de Raios X (FRX) para elementos maiores, e por ICP-OES/ICP-MS para elementos traços, e determinou os teores de macro e micronutrientes, além dos teores de elementos potencialmente tóxicos (EPT) de As, Cd, Hg e Pb, a fim de garantir que estejam dentro dos parâmetros geoquímicos exigidos pela Instrução Normativa do MAPA 05/2016. As análises petrográficas foram feitas por meio de lâminas delgadas para a descrição das fases minerais, com foco na identificação de minerais com condição de abertura cristalina e suas feições de alteração e dissolução, além de contagem modal estimada dos minerais, já que é imprescindível determinar a quantidade de quartzo modal das

amostras, de modo a garantir que a quantidade de SiO₂ livre (quartzo) se mantenha abaixo de 25%, conforme a IN 05/2016 do MAPA. O DRX foi feito para melhor a identificação da assembleia mineral, sendo realizado no Laboratório de Análises Mineraias - LAMIM, na Superintendência de Manaus da CPRM. Estas análises foram feitas em Difratorômetro de Raios - X, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), com aquisição de dados através do software X'Pert Data Collector e tratamento dos dados pelo software X'Pert HighScore. Os padrões utilizados para a identificação dos minerais são do banco de dados do ICDD-PDF (International Center for Diffraction Data - Powder Diffraction File) (LAMIN-MA, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir da avaliação das amostras coletadas, na região centro-sul tocantinense, foi possível determinar os locais mais promissores quanto à existência de agrominerais, onde se destacam: como fontes de K, os polos Monte Santo e São Valério da Natividade; como fontes de multinutrientes, os polos Palmeirópolis, Porto Nacional/Monte Carmo e Gurupi; e como fontes de Ca e Mg e correção de acidez, o Polo Couto Magalhães.

Polo Monte Santo

Nos arredores do Município de Monte Santo existe um polo de extração de esmeraldas (Figura 01) associadas à interação dos fluidos metassomáticos-hidrotermais das rochas da Suíte Alcalina Monte Santo, com os metassedimentos do Complexo Rio dos Mangues (Ribeiro e Alves, 2017). A exploração de gemas na região acontece desde os anos 90 e, nos últimos anos, as atividades foram retomadas por empresas e cooperativas garimpeiras. Foram visitadas sete lavras de esmeralda das cooperativas COOPERGEMAS e COOPERSANTO, e uma pequena mineradora, que está implantando galerias subterrâneas. As rochas encaixantes das mineralizações (paraderivadas e metamáficas biotitizadas, as últimas com vermiculita) apresentaram baixos teores de quartzo modal (traços a 15 %, exceto nas porções gnáissicas). Os resultados da avaliação de 16 amostras, mais promissoras entre as rochas encaixantes, indicam potenciais fontes de nutrientes com resultados significativos para potássio (0,5 - 8,0% K₂O, com média de 2,6%), associados à biotita e flogopita; cálcio (0,04 - 12,7% CaO, média 4,5%); Soma de Base (9,9 - 28,8% SB, com média de 18,6%); além de micronutrientes declaráveis Si, Fe, Mn, Ni e Co. Outro fator positivo nos descartes da exploração de esmeralda é a presença abundante de vermiculita, observada nas análises de petrografia e DRX, que foi possivelmente gerada através do intemperismo e/ou alteração hidrotermal dos biotititos/flogopititos (Ugarte *et al.*, CETEM, 2008), presentes no Garimpo da Matona. A vermiculita é um excelente condicionador de solos que proporciona o aumento da CTC e areação, além de auxiliar na retenção de nutrientes, no sistema solo-planta. As rochas do Garimpo Matona apresentam Ni acima de 500ppm, o que pode gerar restrição agrícola, requerendo *blendagens* (misturas) para sua utilização.



Figura 01: Em (A) Estruturas sendo implantadas para galerias subterrâneas em mineradora; (B) Esmeralda em meio ao biotitito/flogopitito e à vermiculita; (C) Cava no Garimpo do Carlão (Área 24- Babão); (D) Fotomicrografia da amostra de biotitito vermiculitizado, com biotita (Bt) 90% e vermiculita (Vm)/flogopita 10%.

Polo de São Valério da Natividade

As rochas mais promissoras desta etapa da pesquisa são os biotititos e flogopititos mineralizados à granada do Polo São Valério da Natividade. Essas rochas estão associadas às zonas de cisalhamento (falhas transcorrentes destrais N25°-30°E) e cavalgamento, que cortam rochas do embasamento paleoproterozico. Nestas estruturas estão intrudidas as rochas da Suíte Mata Azul, que provavelmente foram a fonte de fluidos potássicos associados ao metassomatismo, que geraram flogopititos e biotititos mineralizados. Neste contexto, duas lavras foram visitadas, o Garimpo do Schneider e a Mineração Rodolita (Figura 02 A, B e C), que se destacam por estocar o material de descarte (granulometria 2,0 a 3,0 mm) há mais de cinco anos, visando o seu uso como agromineral. Na mineradora, foram coletadas amostras de rocha e de pó da pilha de rejeito, entre as quais se destacam como fonte de K os flogopititos/biotititos, que apresentam em média na composição modal de biotita/flogopita índice maior que 90%, e anfibólio como traço, com teores de 7 - 9% de K₂O e 20 - 22% de SB, além de micronutrientes declaráveis de Si, Fe e Mn. Essas rochas compõem, majoritariamente, as 250 mil toneladas de descarte que é estocado, em duas pilhas, pela mineradora. O Garimpo do Schneider (inativo) apresenta porções de biotita gnaisse intercaladas com biotititos/flogopititos, geralmente bem alterados, fragmentados e com vermiculita. A rocha menos alterada (quartzo biotita xisto) tem teores significativos de potássio (4,6% de K₂O), além de magnésio (3,0% de MgO) e, apesar de ter 65% de biotita/flogopita (alterada a vermiculita), a SB é menor que 9%, além de ter quartzo modal acima de 35%. Contudo, nesse garimpo, a porção alterada dominante (biotititos/flogopititos a vermiculita) tem valores mais altos para magnésio (7,4 - 10,1% de MgO), o que eleva a SB (12,1 - 15,4% de SB). Entretanto, ainda é necessária a análise de DRX nos alteritos, para avaliar a quantidade de quartzo. Mas, a princípio, o saprólito possui potencial tanto para remineralização de solos (fornecendo K, Mg, micronutrientes declaráveis Si, Fe e Mn), como para condicionamento de solos (aumento da CTC, areação e retenção de nutrientes), devido à presença de vermiculita.



Figura 02: (A) Mineração Rodolita: biotitito/flogopitito mineralizado à granada; (B) Processo de beneficiamento do minério feito por fragmentação em betoneiras, após lavagem por jateamento de água e; (C) Amostragem em pilha de estocagem da mineradora.

Polo Palmeirópolis

O Polo Palmeirópolis apresentou uma variedade de rochas com potencial para macro e micronutrientes, em duas pedreiras no Grupo Serra da Mesa e em um garimpo de gemas, na Suíte Mata Azul. O Garimpo de gemas “Zé do Fole” explora rochas pegmatíticas encaixadas em metamáficas (Figura 03A), as quais configuram descartes com potencial para remineralizadores, apresentando teores de macronutrientes de magnésio (12,2 - 14%) e cálcio (10,5 - 12%), com destaque para potássio (3,8 - 4,7%) e SB variando de 27,4 - 29,9%, além de micronutrientes declaráveis (Si, Fe e Mn). Embora as rochas pegmatíticas deste garimpo apresentem teores de K_2O por volta de 10%, este valor está relacionado ao feldspato potássico, mineral de difícil abertura. A Pedreira Palmeirópolis (inativa) explorava uma rocha ornamental de rara beleza, representada por um mármore calcissilicático bandado, com tons esverdeados à rosados (Figura 03B). O alto índice de perda de blocos na operação desta lavra levou à sua paralização, deixando um grande passivo ambiental. Entretanto, novas tecnologias de exploração associadas à utilização dos descartes poderiam voltar a viabilizar esta lavra, uma vez que os resultados obtidos nas análises indicam: 21 a 40,2% de CaO ; 1,6 a 2,38% de MgO e 1,15 a 3,4% de K_2O (disponível, pois está relacionado a biotita), além dos teores de quartzo serem inferiores a 13%. Ainda neste polo, foram coletadas amostras de metacalcário em afloramentos do Grupo Serra da Mesa (03A e B), que indicam potencial para cálcio (29,1 - 39,6% de CaO) e magnésio (5,75 - 19,4 de MgO), além da correção de acidez em solos. O teor de K_2O (1,37%) encontrado em uma das amostras qualifica a rocha como um remineralizador de solos, e está parcialmente associado à biotita, embora a petrografia modal (Figura 03C) também tenha encontrado muscovita e sericita nesta rocha, minerais de difícil abertura.



Figura 03: (A) Amostra de rocha metamáfica alterada no Garimpo Zé do Fole; (B) Frente de lavra do mármore bandado da Pedreira Palmeirópolis e; (C) Fotomicrografia da amostra metacalcário magnesiano impuro com carbonato (Cb) (calcita+dolomita) 60%, muscovita/sericita (Sc) 20%, biotita (Bt) 15% e opacos 5%.

Polo Porto Nacional/Monte Carmo

Neste polo se destacam as rochas metavulcânicas da Suíte Ipueiras, de afiliação dacítica, que contam com uma pequena lavra desativada, nas proximidades do município de Monte Carmo - TO. O garimpo explorou de forma semi-mecanizada mineralizações sulfetadas dessas rochas para extração de ouro e conta com galerias subterrâneas. O teor de potássio destas rochas fica entre 2,6 e 3,69% de K_2O ; o CaO entre 0,91 e 6,2%; e o MgO varia de 0,36 a 2,5%, e os micronutrientes declaráveis são Si, Fe e Mn. A amostra sulfetada alcançou teores significativos de K, bem como apresentou SB adequada (12,3%). Como em outras rochas vulcânicas, as texturas de resfriamento rápido podem favorecer a reatividade dos minerais em solos, embora no caso das vulcânicas ácidas os baixos teores de Mg não contribuam para ampliar os teores de SB. O potencial agromineral destas rochas não deve ser descartado, pois a textura afanítica, associada aos teores de K_2O e micronutrientes, poderiam viabilizar o seu uso em *blendagens* (misturas). No entanto, é necessário prosseguir na investigação petrográfica dos metadacitos, pois o K pode estar vinculado à sericita, mineral de difícil abertura em solos, assim como o teor de quartzo deve ser investigado por DRX, com refinamento Rietvelt.

Polo Gurupi

Neste polo, existem diversas pedreiras de material para construção civil, algumas paralisadas. Entretanto, apenas a CMB Mineração (ativa) e a Pedreira Travessão (inativa) apresentaram rochas com potencial para remineralização de solos. Tanto na Pedreira CMB (Figura 04A), que já comercializou finos de britagem para esta finalidade, quanto na Pedreira Travessão são lavradas rochas gnáissicas. Os gnaisses da CMB Mineração apresentam bandamento alternando bandas leucocráticas granoblásticas (quartzo feldspáticas) de composição álcali granítica, com espessura centimétrica a submétrica e bandas mesocráticas granolepidoblásticas de composição granodiorítica (feldspato, quartzo, anfibólio e minerais micáceos), com espessura

decimétrica a submétrica (Figura 04B). Esta variação composicional nas frentes de lavra dificulta a separação das porções de rochas com composição mais promissoras, nas duas lavras. Dentre as amostras de rochas coletadas nas duas pedreiras, apenas o anfibólio biotita granodiorito gnaisse, da Pedreira CMB (SB 10,9%; K₂O 1,5% e CaO 6%) e o anfibólio sienogranito gnaisse, da Pedreira Travessão (SB 10,7%; K₂O 4,5% e CaO 4,6%) apresentam potencial como remineralizadores, com quartzo <25%, além de micronutrientes declaráveis (Si, Fe e Mn). Contudo, nas duas frentes de lavra há setores com teores de quartzo em torno de 30%. Duas amostras de finos de britagem, da CMB, revelaram valores de Soma de Base entre 6,7% e 7,3%, o que indica que seria necessário separar os litotipos mais promissores que se enquadram na IN 05/2016.



Figura 04: Em (A) Cava a céu aberto da Pedreira CMB; (B) Bandamento gnáissico evidenciando variação composicional na frente de lavra da CMB (C) Fotomicrografia da amostra de anfibólio biotita granodiorito gnáissico, com plagioclásio (Pl) 40%, biotita (Bt) 25%, anfibólio (Af) 15%, ortoclásio (Or) 10%, quartzo (Qt) 10% e epidoto tr. Notar nível mesocrático granolepidoblástico com anfibólio alterando para biotita.

Polo Couto Magalhães

Neste polo, foram avaliadas rochas metacalcárias da Formação Couto Magalhães, lavradas para construção civil e calcário agrícola, nas cidades de Lagoa da Confusão - TO (Calcáreo Cristalândia) e Formoso do Araguaia -TO (Morro do Ferro e Morro Azul). Como são rochas carbonáticas, não são comuns quantidades significativas de quartzo (10-20%). Já o K₂O é inferior a 1% (0,02 - 0,95%). Entretanto, têm potencial como fonte de cálcio (26,7 - 38,8% de CaO) e magnésio (5,2 - 20,2% de MgO), além de correção de acidez de solos. Estas rochas também podem ser utilizadas para *blendagem* com outros agrominerais, a fim de proporcionar um produto adequado aos solos e cultivos da região.

CONCLUSÕES

Os resultados apontam que muitas rochas atendem aos critérios químico-mineralógicos do MAPA - IN 05/2016, com potencial para fonte de macro e micronutrientes, além de não apresentarem restrição para EPT, sendo recomendadas para a realização de ensaios agrônômicos. Nesta primeira etapa do trabalho, destacam-se não apenas pela qualidade do material amostrado, os

descartes da Mineração Rodolita, que tem 250 mil toneladas de material estocado composto majoritariamente por biotititos/flopititos, bem como os materiais dos garimpos de esmeralda do Polo Monte Santo, pela possibilidade de arranjo produtivo entre as duas cooperativas atuantes na região. Outras rochas que se destacam, nesta etapa do trabalho, pelo potencial agromineral, estão nos polos Palmeirópolis, Porto Nacional/Monte Carmo e Gurupi (como fontes de multinutrientes), e no Polo Couto Magalhães (como fontes de Ca e Mg e correção de acidez). É importante ressaltar que o Projeto Agrominerais do Tocantins terá continuidade, em 2021, com realização de outras etapas de campo e de laboratório. Os resultados finais serão publicados como um Informe de Recursos Minerais, que também contará com Mapas de Potencial Agromineral do Estado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLASKOWSKI, A. E., BERGMANN, M. e CAVALCANTE, A.O. Projeto Agrominerais da Região de Irecê – Jaguarari. Salvador: CPRM, 2016. 105 p.: il. color. + 4 mapas – (Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para Agricultura, 19).
- BRASIL, 2016. IN 05/2016. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA N.º 05 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios e protocolos em remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Secção 1, p.10-11.
- RIBEIRO, P.S. E & ALVES, C.L., Geologia e Recursos Minerais da Região de Palmas. Folha Miracema do norte (SC.22-X-D), Porto nacional (SC.22-Z-B) e 2003 Santa Teresinha (SC.22-Z-a). escala 1:250.000. Goiânia: CPRM, 2017.
- LAMIM - MA. Laboratório de Análises Minerais – LAMIM. Serviço Geológico do Brasil - CPRM. Superintendência de Manaus - AM, 2019.
- SEAGRO, Secretaria de Agricultura do Estado do Tocantins. Disponível em: <<http://seagro.to.gov.br>>. Acesso em: 15 jul. 2020.
- UGARTE, J. F. O.; SAMPAIO, J. A.; FRANÇA, S. C. A.. Vermiculita. IN: Rochas e Minerais Industriais no Brasil: usos e especificações. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2008. p. 865-887.

FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO, MAGNÉSIO E CÁLCIO ASSOCIADAS ÀS MINERALIZAÇÕES DE ESMERALDA DE MONTE SANTO (TO)

EMANUELA REIS BROD¹; ALESSANDRA ELISA BLASKOWSKI¹

¹ Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Setor Bancário Norte - Quadra 02 - Bloco H - Edifício Central Brasília - 1º andar, 70040-904, Brasília, DF, emanuela.brod@cprm.gov.br, alessandra.blaskowski@cprm.gov.br

Resumo:

O Serviço Geológico do Brasil - SGB (CPRM) desenvolve o Projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil – Área Tocantins, para localizar e identificar rochas, que sejam possíveis fontes de macro e micronutrientes para a agricultura, em alternativa aos fertilizantes químicos solúveis tradicionais. Na região de Monte Santo (TO), há a exploração garimpeira de esmeraldas, com destaque para o Garimpo da Matona, onde se coletou nove amostras para estudo. Análises químicas, descrições petrográficas e análises de difração de Raios X foram realizadas para verificar o atendimento aos critérios estabelecidos na IN 05/2016, editada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Os minerais majoritários nas rochas encaixantes da mineralização são a biotita, flogopita, vermiculita e anfibólio, e os minoritários são plagioclásio e quartzo. Os flogopititos chegam a ter 8% de K₂O e os anfibólitos vermiculitizados, 18% de MgO e 10% de CaO. Salienta-se que estudos agronômicos ainda são necessários para confirmar se tais produtos favorecem o desenvolvimento de plantas. Os dados disponíveis, até o momento, permitem afirmar que o material de descarte do Garimpo da Matona tem grande potencial para ser utilizado como fonte alternativa de potássio, magnésio, cálcio e micronutrientes na agricultura.

Palavras-chave: esmeraldas de Monte Santo; remineralizadores de solo; potássio; magnésio; cálcio.

INTRODUÇÃO

O Brasil vem batendo recordes de safra agrícola, na última década (IBGE), e, para conseguir acompanhar esses números, vale o “produzir mais com menos”, ou seja, é necessário aumentar a produtividade dos solos plantados. Como os solos tropicais brasileiros são muito intemperizados, ácidos e pobres em nutrientes, há necessidade de grande adição de fertilizantes para torná-los

produtivos, segundo o modelo agrícola convencional. De acordo com a ANDA (2020), cerca de 81% dos fertilizantes utilizados são importados e impõem um gasto muito alto para o setor. Além dos custos elevados, atrelados às oscilações do dólar, os fertilizantes convencionais não contemplam todos os nutrientes necessários e são altamente solúveis, com rápida disponibilização para o solo, mas, também, em parte perdidos por serem facilmente lixiviados.

Os pós de rocha (remineralizadores de solo) despontam como uma alternativa nesse cenário, pois além de ser uma fonte multielementar, estimula a atividade biológica do solo, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), aumenta o pH, entre outros benefícios. A fim de estimular e legitimar esses estudos, o Brasil, em 2013, incluiu os remineralizadores de solo como uma categoria de insumos destinados à agricultura, e em 2016 foi elaborada a Instrução Normativa que regulou os parâmetros para seu registro e comercialização (Brasil, 2013 e 2016).

O Serviço Geológico do Brasil – SGB (CPRM), atento a essas necessidades, analisa e avalia os mais diversos litotipos, por meio do projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil. Esse projeto visa, principalmente, à utilização de descartes de mineração como fonte de nutrientes para o sistema solo-planta, impulsionando tanto a atividade minerária, quanto a agrária do país.

Uma das áreas atualmente estudada é o estado do Tocantins, que, além de possuir uma grande variedade de ambientes geológicos e litologias, está inserido na nova e promissora fronteira agrícola nacional, denominada de MATOPIBA, acrônimo para Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (EMBRAPA). O Estado está localizado em duas grandes compartimentações geotectônicas: a Província Tocantins e a Bacia do Parnaíba, além das seguintes unidades estratigráficas: Grupo Bambuí, Grupo Urucua e Bacia do Bananal (Almeida *et al.*, 1976; Almeida, 1981).

As regiões de garimpos, focadas nesse estudo, ficam nos arredores de Monte Santo, na porção central do Estado. A atividade garimpeira na região é antiga e, em 2019, vários garimpos retomaram ou iniciaram as atividades exploratórias. As mineralizações de esmeralda estão relacionadas à interação dos fluidos metassomáticos-hidrotermais das rochas alcalinas da Suíte Alcalina Monte Santo, com os metassedimentos do Complexo Rio dos Mangues (Ribeiro e Alves, 2017).

As rochas do Complexo Rio dos Mangues, encaixantes da mineralização, são quartzitos ferruginosos, anfibolitos hidrotermalizados, hornblenda fels pegmatóides, hornblenda fels calcita, meta quartzo hornblenda clinopiroxênio diorito, talco tremolita fels com calcita e opacos e metaultramáficas (Ribeiro e Alves, 2017).

A interação entre os fluidos oriundos da rocha alcalina e as encaixantes produziu importantes halos de alteração, expressivos nos locais onde o magma alcalino manteve contato com rochas mais reativas, tais como as rochas calcissilicáticas e as metamáficas/ultramáficas. Esses processos geraram importantes jazimentos na forma de indícios, ocorrências e depósitos, com

destaque para esmeraldas, zirconitas, elementos terras raras, sodalitas e rochas ornamentais (Ribeiro e Alves, 2017).

Na primeira etapa de campo do projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil – Área Tocantins, realizada entre abril e maio de 2019, foram estudados 07 (sete) garimpos de esmeralda, no município de Monte Santo. Desses, o Garimpo da Matona se destaca pelo volume e qualidade do material.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização petrográfica e química das rochas encaixantes da mineralização de esmeralda, do Garimpo da Matona, para avaliar a potencialidade das rochas como fontes alternativas de macro e micronutrientes para a agricultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada no projeto realizou-se em três etapas (Blaskowski *et al.*, 2016 e Blaskowski, 2018):

1 – Fase pré-campo: levantamento bibliográfico e compilação de dados de litoquímica, petrografia, recursos minerais, afloramentos e geofísica. Com base nessas informações e a partir do recorte do mapa de 1:1.000.000 - GISBrasil (Bizzi *et al.*, 2003), foi construído o Sistema de Informação Geográfica do estado do Tocantins e selecionadas as Unidades de Interesse Agrogeológico (UIA), que consistem nos litotipos com potencial para utilização como remineralizadores de solos.

2 – Fase campo: trabalho *in loco* nas áreas de garimpos, mineradoras e afloramentos das UIA, com coleta de 09 (nove) amostras, em duas frentes de lavras, Mina 1 e Mina 3, do Garimpo da Matona. Dessas nove amostras, uma é representativa do capeamento, outra do veio que contém a mineralização de esmeralda e sete amostras representam a encaixante da mineralização.

3 – Fase pós-campo: preparação das amostras para análise química, difração de raios X e confecção de lâminas delgadas polidas. As análises químicas foram direcionadas para atender à IN 05/2016 (Brasil, 2016) e realizadas na SGS Geosol Laboratórios LTDA, de Vespasiano (MG), com o uso das seguintes técnicas:

- Análise de óxidos maiores, através de fusão por tetraborato de lítio e leitura por Fluorescência de Raios X (FRX);
- Análise de elementos traços, através de fusão por metaborato de lítio e leitura por ICP-OES/ICP-MS e por meio de abertura por quatro ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS;

- Análise de elementos traços voláteis, através da digestão por água régia e leitura por ICP-OES/ICP-MS (análise que visou atender aos limites mínimos de detecção para Hg exigidos pela norma);
- Análise de carbono orgânico e carbonático por infravermelho em LECO e carbono grafitico (ou elementar) por calcinação em mufla.

A descrição petrográfica de oito lâminas delgadas polidas foi realizada em microscópio de luz transmitida e refletida, marca Olympus, modelo BX51, para identificar e quantificar os minerais que compõem a rocha (tanto com potencial para uso como remineralizadores de solo, quanto para os que requerem atenção, como o quartzo), bem como para determinar a textura, o grau de alteração e a granulometria.

As análises por Difractometria de Raios X (DRX) foram realizadas em conjunto com o Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN), da Superintendência de Manaus da SBG, para confirmar a assembleia mineral da petrografia e, também, avaliar a presença de polimorfos e fases amorfas que pudessem conter elementos nutrientes. As análises foram realizadas em Difractômetro de Raios X, modelo X'PERT PRO MPD (PW 3040/60), da PANalytical. A aquisição de dados foi feita com o software X'Pert Data Collector, versão 2.1a, e o tratamento dos dados com o software X'Pert HighScore, versão 3.0d, também da PANalytical.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Garimpo da Matona existe há 22 anos, ficou um período inativo, com retorno às atividades em 2019, de acordo com o encarregado, sr. Celvino Carlos. É utilizado para extração de esmeralda, que ocorre associada às estruturas de dobramento e junto aos frisos de quartzo fumê. A permissão de lavra garimpeira (PLG) possui autorização da Agência Nacional da Mineração (ANM) para operação a céu aberto, mas existe previsão de requerer a lavra subterrânea.

A estratigrafia resumida, observada nas cavas, é um fino capeamento de 50cm, além de 1,5m de quartzito, 4,5m de biotita anfibólio gnaisse, 1,5m de rampa verde (classificação do garimpo), que é formada por anfibolito alterado e 2,5m de xisto rampeado (classificação do garimpo), com diferenciação entre o marrom dourado (biotitito) e o marrom café (flogopitito ou anfibolito vermiculitizado). A esmeralda ocorre no contato entre o anfibolito e o biotitito/flogopitito e, também, em veios pegmatíticos que se acumulam nas fraturas e charneiras das dobras. A esmeralda de melhor qualidade (cor verde cana) ocorre associada ao “xisto rampeado” (flogopitito); já a “rampa verde” (vermiculita anfibolito), tem esmeralda de menor qualidade, com coloração verde sumo.

A partir da descrição petrográfica, das análises de DRX e química, as amostras coletadas foram classificadas petrograficamente em:

- 09A – biotita anfibólio gnaiss (35% de anfibólio, 30% de plagioclásio, 25% de biotita e 10% de quartzo);
- 09B (rampa verde) – vermiculita anfibolito (60% de actinolita, 40% de vermiculita e plagioclásio como traço);
- 09C (xisto rampeado marrom dourado) – biotitito (90% de biotita e 10% de flogopita/vermiculita);
- 09D (xisto marrom café) – flogopitito (85% de flogopita, 9% de plagioclásio e 6% de anfibólio);
- 09E – biotita anfibolito (60% de actinolita, 40% de biotita/flogopita/vermiculita e feldspato como traço);
- 09F – veio de quartzo e plagioclásio em que ocorre a esmeralda (70% de quartzo, 15% de plagioclásio e 15% de biotita);
- 09G – biotitito/flogopitito (40% de biotita, 40% de flogopita+vermiculita e 20% de quartzo);
- 09H (capeamento) - quartzo grafita xisto;
- 09I (xisto marrom café) – anfibolito vermiculitizado (90% de vermiculita/hidrobiotita e 10% de plagioclásio).

A partir das observações de campo e das análises, sugere-se como protólito, um anfibolito que foi intemperizado e/ou passou por alterações hidrotermais, transformando o anfibólio em biotita, que também está alterada/intemperizada, formando flogopita. Em alguns casos, a transformação foi completa, dando origem à vermiculita, um excelente condicionador de solos.

Essas fases de alteração são evidenciadas nas análises por DRX (Figura 1) e nas lâminas petrográficas (Figura 2): primeiro, a rocha com anfibólio e biotita (09D), que altera para uma rocha com biotita/flogopita e um pouco de vermiculita (09C) e, por fim, a formação de uma rocha com predominância de vermiculita e um pouco de hidrobiotita (09I).

As rochas com potencial para uso como agrominerais, nessa lavra, são compostas em sua maioria por minerais de biotita/flogopita, que estão alteradas para vermiculita, e por anfibólio, e, em menor quantidade, por plagioclásio e quartzo (Figuras 1 e 2). Essas rochas bastante alteradas apresentam bom potencial para liberação de macro e micronutrientes para o sistema solo-planta. As biotitas e flogopitas são fonte de K, Fe e Mg, em condições de intemperismo; já a vermiculita, é um excelente condicionador de solos, que aumenta a CTC, a retenção de nutrientes e a capacidade de aeração. Minerais de anfibólio/ferromagnesianos são fontes de nutrientes como Ca, Mg, Fe e Si. Minerais de plagioclásio (fonte de Ca e Si) exigem cautela, pois o plagioclásio sódico (albita) pode elevar os teores desse elemento, porém, apenas a amostra 09A apresentou valores elevados de Na₂O (5,35%); nas demais amostras, os teores não chegam a 1%. Também foi observada a

presença de quartzo, em algumas amostras, mas em quantidade que não representa restrição para uso como remineralizador de solo.

Em termos litoquímicos (Tabela 1), a maioria das amostras possui potencial para uso como remineralizadores de solo, com uma soma de bases ($K_2O+MgO+CaO$) com variação entre 11,7 a 28,8% (exceto as amostras 09F e 09H). Os teores de elementos potencialmente tóxicos (EPT) estão abaixo do que é estabelecido na IN 05. Apenas as amostras 09B e 09C possuem teores de K_2O menor que 1%, mas, em contrapartida, os teores de CaO e MgO são altos, 2,6 e 18,2%, respectivamente, com possibilidade de serem utilizadas como condicionador de solo.

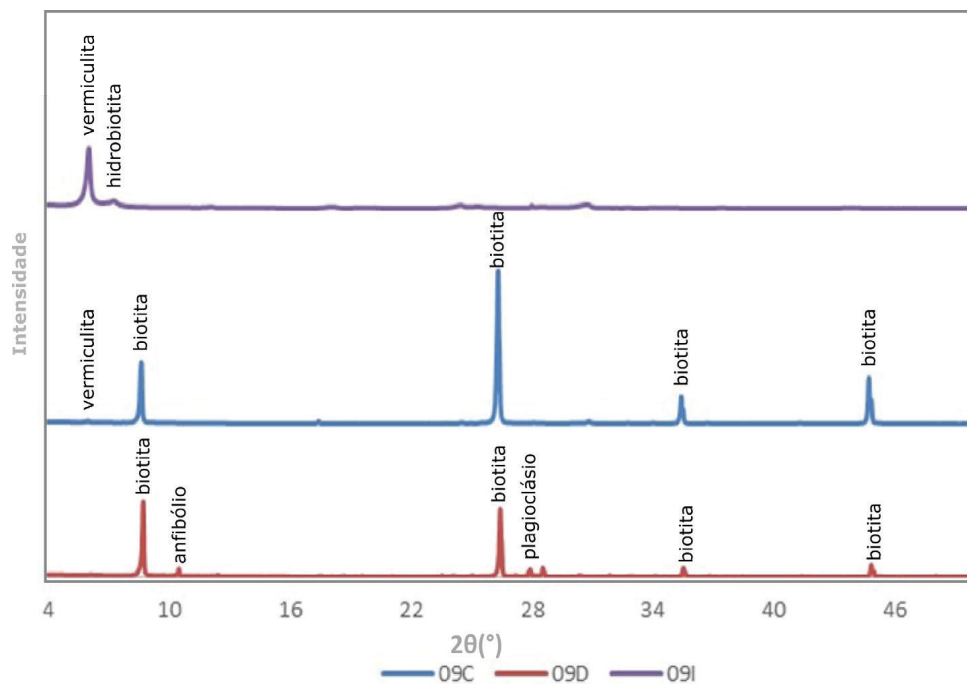


Figura 1. Difratograma das amostras 09C, 09D e 09I do Garimpo da Matona.

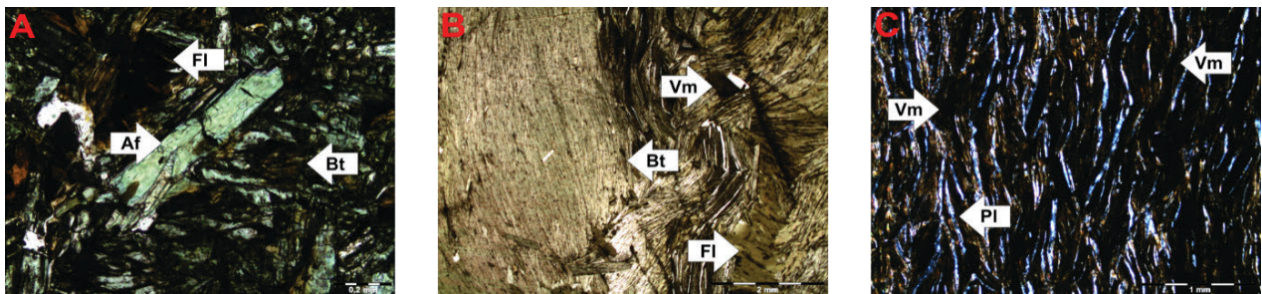


Figura 2. Fotomicrografias dos principais minerais das rochas do Garimpo da Matona. Cristais de anfibólio preservados, com outros já alterados para biotita e flogopita (A); processo de alteração da biotita para flogopita e vermiculita (B) e massa de cristais de vermiculita (C). Abreviações: Af – Anfibólio, Bt – Biotita, Fl – Flogopita e Pl – Plagioclásio.

Tabela 1. Composição química das amostras coletadas

Rocha	Macronutrientes				Micronutrientes			Problemáticos		EPT			
	CaO	K ₂ O	MgO	SB	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Ni	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	As	Cd	Hg	Pb
%.....			ppm.....		%.....	ppm.....			
09A	3,76	2,25	5,91	11,92	57,1	6,64	261	5,35	17,2	<1	0,08	<0,01	4,3
09B	9,68	0,96	18,20	28,84	51,1	9,33	509	0,42	4,96	<1	0,28	<0,01	2,6
09C	2,58	0,82	18,20	21,60	40,6	12,20	686	<0,1	14,00	<1	0,07	<0,01	0,7
09D	0,26	8,01	19,90	28,17	39,3	11,00	615	0,34	15,00	<1	0,02	<0,01	0,7
09F	0,19	2,40	2,50	5,09	61,5	8,53	39	6,01	15,40	<1	0,15	<0,01	1
09G	0,04	4,96	6,74	11,74	62,7	14,00	85	<0,1	7,71	<1	0,08	<0,01	0,9
09H	0,08	4,25	0,87	5,20	70,5	1,31	13	<0,1	12,10	2	0,09	<0,01	1,3
09I	1,82	2,07	18,00	21,89	39,8	12,40	631	<0,1	14,80	<1	0,06	<0,01	0,7

A amostra de capeamento é formada por quartzo, muscovita e grafita, com teor de carbono orgânico de 5,38%, ou seja, possui potencial para ser usada como fonte de matéria orgânica, que contribui para a retenção dos nutrientes e manutenção da umidade.

O biotita anfibólio gnaiss apresenta soma de bases de aproximadamente 12%, com destaque para os teores de CaO (3,8%) e K₂O (2,25%). O anfibólito, representante da rampa verde, tem a maior soma de base entre as amostras (28,9%), com destaque para os teores de CaO (9,7%) e MgO (18,2%); e mesmo o teor de K₂O sendo próximo ao mínimo estabelecido na IN 05/2016, os teores dos demais elementos são interessantes para o uso agrícola. Já os biotitos/flogopititos/anfibólito vermiculitizado têm teores médios de soma de bases de 24%, com destaque para o teor de 8% de K₂O do flogopitito e para os teores de MgO de todas as amostras que são maiores que 18%.

Todas as amostras apresentam teores declaráveis para os micronutrientes de Si e Fe, além de apresentar, em algumas amostras, teores declaráveis de Mn (0,14 - 0,22%) e Co (150,5 ppm - amostra 09A). Um fator que merece atenção especial são teores de Ni nas amostras, pois embora o Ni seja considerado um micronutriente declarável, a partir de 50ppm, acima de 500ppm é considerado fitotóxico e pode ter restrição agrícola, o que sugere a possibilidade de utilizar estas rochas em *blendagens* (misturas).

Considerando as proporções aproximadas de cada litotipo (45% de biotita anfibólio gnaiss, 15% de vermiculita anfibólitos (rampa verde) e 25% de flogopititos (xisto rampeado) e seus dados químicos, é recomendável a disposição desses litotipos em pilhas separadas, visando a formação de misturas que atendam à necessidade da agricultura da região e à IN 05/2016. A separação da porção formada por quartzito (15% da lavra), em uma pilha de estéril, é necessária, para não contaminar as demais rochas e inviabilizar a utilização do material como remineralizador de solo.

Um aspecto de atenção é a presença de minerais fibrosos com características de asbestos, comumente observados em metamorfismo metassomático de rochas máficas/ultramáficas, ricas em magnésio (Van Gosen, 2007), que representa um impeditivo para sua utilização. Embora haja presença de máficas/ultramáficas metamorforizadas (anfíbolitos), no garimpo, não foi observada a presença de minerais *asbestiformes* nas rochas estudadas.

Ainda são necessários ensaios agronômicos com as rochas dessa região, para confirmar o potencial agronômico desses materiais, conforme estabelecido na IN 05/2016.

CONCLUSÕES

A participação do Serviço Geológico do Brasil, nos estudos de rochas silicáticas com uso potencial para a remineralização de solo, é fundamental para impulsionar as atividades minerárias e agrícolas do país. O Estado do Tocantins tem grande diversidade de unidades litológicas e faz parte da fronteira agrícola conhecida como MATOPIBA. O material de descarte dos garimpos de esmeralda, nos arredores de Monte Santo (TO), é constituído principalmente por anfíbolitos, biotititos, flogopititos e anfíbolitos vermiculitizados, os quais apresentam um grande potencial para uso na agricultura da região. Com base nos resultados das análises petrográficas, químicas e de difração de raios X, especificados na IN 05/2016, é possível afirmar que os anfíbolitos são fontes de cálcio; os biotititos e flogopititos configuram-se como fontes de potássio e os anfíbolitos vermiculitizados são fontes de magnésio. Apesar disso, recomenda-se que sejam efetuados ensaios agronômicos, a fim de se verificar o seu desempenho como remineralizadores de solos. Ainda assim, com os dados disponíveis até o momento, é possível afirmar que as rochas que compõem o descarte do Garimpo de esmeralda da Matona apresentam grande potencial para serem utilizadas na agricultura, como fontes de potássio, magnésio, cálcio e micronutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. M. M.. Brazilian structural provinces: an introduction; Earth Science Review, n. 17, p 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. HASUI, Y; BRITO NEVES, B.B. The Upper Pre-Cambrian of South America. Bol. Hist. Geoc. USP, n.7, p 45-80, 1976.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS – ANDA. [Site institucional]. Disponível em: <https://anda.org.br/estatisticas/>. Acessado em 06/07/2020
- BIZZI, L.A. *et al.* (ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003. 692p. + 1 DVD com texto e 4 mapas. ISBN 85-230-0790-3.
- BLASKOWSKI, A.E.. Caracterização petrológica e química das rochas de rejeito da Mina Ipueira e seu potencial agromineral, Salvador, 2018.

- BLASKOWSKI, A. E., BERGMANN, M. e CAVALCANTE, A.O.. Projeto Agrominerais da Região de Irecê – Jaguarari. Salvador: CPRM, 2016. 105 p.: il. color. + 4 mapas – (Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para Agricultura, 19).
- BRASIL, 2016. IN 05/2016. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA N.º 05 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios e protocolos em remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Seção 1, p.10-11.
- BRASIL, 2013. Lei n. 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 11/12/2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, [Sítio institucional]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/index.html>. Acessado em 06/07/2020
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. [Sítio institucional]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acessado em 06/07/2020
- RIBEIRO, P.S.E & ALVES, C.L., Geologia e Recursos Minerais da Região de Palmas. Folha Miracema do norte (SC.22-X-D), Porto nacional (SC.22-Z-B) e Santa Teresinha (SC.22-Z-a). escala 1:250.000. Goiânia: CPRM, 2017.
- VAN GOSEN, B.S., The geology of asbestos in the United States and its practical Applications. Environmental and Engineering Geoscience, p 55-68. 2007. <http://doi.org/10.2113/gseegeosci.13.1.55>.

INCUBAÇÃO DE BASALTO PRETO COLUNAR DE PARAÚNA E SUA UTILIZAÇÃO COMO FONTE DE AGROMINERAIS.

HÉLIO DE SOUZA FERRO JÚNIOR

Instituto Tecnológico de Goiás - ITEGO, COTEC – CDTM, Centro de Desenvolvimento Mineral, 74620030 Goiânia. GO, Brasil. E-mail: heliojr0102@gmail.com

Resumo

O basalto é uma rocha ígnea com minerais silicáticos, contém em sua composição vidro vulcânico, plagioclásio, diopsídio, ilmenita, e na natureza passam pela ação do clima, das chuvas, das plantas, dos micro-organismos. Ao sofrerem intemperismo podem liberar minerais como cálcio, magnésio, ferro, fósforo, potássio, macro- nutrientes e micro- nutrientes essenciais ao crescimento das plantas. Este artigo pretende avaliar o efeito de doses de basalto moído nos teores de nutrientes no solo. Foram utilizados dois tipos de solos, um solo arenoso e um solo argiloso, coletados em áreas intemperizadas de nutrientes, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e relativamente ácidos. Foram retirados em uma camada de 0 a 20 cm, para serem estudados os índices dos minerais no solo, antes e após a aplicação de pó de rocha basáltica. Concluiu-se que, tanto nos solos argilosos quanto nos arenosos, diferentemente, com a aplicação deste pó de basalto, elevou-se os teores de cálcio (até 50%), de magnésio (até 100%), de potássio (até 100%), e o nutriente fósforo obteve uma grande elevação em até 700% em solo arenoso, e 300% no argiloso. Observou-se o aumento da CTC, também da soma de bases, do pH e do zinco.

Palavras-chave: minerais, nutrientes, essenciais, fósforo.

INTRODUÇÃO

O pó de rocha de basalto está mostrando ser um importante aditivo para solos tropicais, geralmente desgastados, ácidos e esgotados em minerais. “A desmineralização ocorre rapidamente em solos intensivamente cultivados e tropicais. O pó de rocha pode reverter esse processo, restaurando a vida do solo, adicionando uma grande diversidade de minerais para alimentar os micro-organismos e dada à quantidade de matéria orgânica suficiente, ajudando a reconstruir o solo rapidamente” (HAMAKER, WEAVER,2002).

O conteúdo de silício contido no basalto tem boa disponibilidade, devido a sua baixa cristalinidade, gerada através do seu rápido resfriamento quando foi formado, o que gera uma boa reatividade e rápida absorção. O silício também é conhecido por melhorar o crescimento das raízes e aumentar a sua resistência estrutural. Os compostos de silício (silicatos) e os demais minerais da rocha têm impacto nas propriedades físicas e químicas do solo, tais como agregação do solo, devido ao cálcio, maior profundidade de raízes, devido ao magnésio, eleva a CRA (capacidade de retenção de água), devido à grande superfície específica e aumenta a CTC, além de outros fatores físico químicos devido aos minerais. O basalto possui, também, minerais contendo potássio, fósforo, além de diversos micronutrientes.

Busca-se desenvolver produtos que contenham agrominerais, a partir do uso de rocha (basalto colunar preto de Paraúna), que adicionados ao solo possam oferecer propriedades físicas e químicas destes minerais aos solos agrícolas, como: melhorar nutrição das plantas em cálcio, magnésio, potássio, fósforo, silício, zinco e micronutrientes essenciais às plantas, aumentar o pH do solo, elevar a CTC e aumentar a CRA, no mesmo, melhorar as condições físico-químicas naturais para desenvolvimento de micro-organismos benéficos ao ecossistema, redução dos elementos tóxicos do ambiente, maior resistência às pragas e doenças, maior eficiência na fotossíntese, maior resistência à seca, maior resistência mecânica das células, maior absorção e disponibilidade do fósforo, do nitrogênio, melhorar qualidade das sementes e de fertilizantes minerais, redução da transpiração, obtenção de folhas mais eretas (gramíneas), maior perfilhamento (gramíneas), maior desenvolvimento radicular, plantas mais produtivas, aumentar a disponibilidade de nutrientes sendo liberados gradualmente, maior efeito residual, conforto térmico, magnetismo, melhorar a compostagem, fornecendo complementação mineral duradoura de liberação gradual. Pode-se, também, empregar para adicionar na formulação de fertilizantes organominerais, usar para a agricultura orgânica, na produção de mudas, ajudar a conter erosões e voçorocas (substrato base, usando em gabiões etc.), sendo que este produto não deve conter elementos tóxicos, de acordo com as normas e leis dos remineralizadores. A empresa pretende fornecer basalto moído, disponibilizando esse produto na forma de substrato mineral condicionador de solo, produto novo fonte de cálcio, magnésio, silício e/ou remineralizador no futuro, caso reduzam-se exigências de k_2O , como está em discussão e análise no Ministério de Minas e Energia, para registro de produtos no MAPA.

Geoquímica total da rocha, Mineralogia e Análise dos solos:

Basalto Preto Colunar	Mineral
Geoquímica:	Porcentagem (%)
SiO ₂ - 49,4%	Vidro vulcânico
Al ₂ O ₃ - 13,0%	30,4
MgO - 5,54%	Plagioclásio
CaO - 9,21%	26,4
MnO - 0,20%	Diopsídio
TiO ₂ - 3,39%	28,2
Fe ₂ O ₃ - 15,2%	Ilmenita
Na ₂ O - 2,54%	15,0
K ₂ O - 0,89%	
P ₂ O ₅ - 0,41%	

Tabela 1: Geoquímica total da rocha. / Tabela 2: Mineralogia total da rocha.

Foi avaliado o potencial do minério para desenvolver produtos: substrato, condicionador de solo, produto novo fonte de cálcio, magnésio, silício e remineralizador no futuro, caso reduzam-se exigências de k₂O, como está em discussão e análise no Ministério de Minas e Energia, para registro de produtos no MAPA.

Além da rocha, também foram analisadas suas interações com o solo, através de tratamentos de incubação para serem estudados os índices dos minerais no solo, conforme tabela 3:

Tabela 3: Índice dos minerais no solo, antes da aplicação do pó da rocha.

	Cmolc/dm ³	Cmolc/dm ³	Cmolc/dm ³	mg/dm ³	Melich	Cmolc/dm ³	%	%	
Solos	Ca	Mg	H+Al	K	P	Zn	Ctc	PH	Sat. Base
Argiloso	2,2	1,2	2,7	201,7	7,0	1,2	6,62	5	59,21
Arenoso.	0,6	0,2	1,5	67,4	4,3	0,9	2,47	5,5	39,27

MATERIAIS E MÉTODOS

Trata-se de pesquisa experimental, onde as amostras de rocha foram coletadas em área de lavra da Empresa Pedra Ferro Mineração, no município de Paraúna – GO. Foram desenvolvidas análises químicas totais de rocha, também de CTC, CRA e outras, em diferentes medidas granulométricas, em laboratório credenciado no MAPA, sendo que este trabalho visa o estudo de análises químicas de rocha e de solo, com incubação de produto da moagem mecânica em britador/moinho e peneiramento do basalto, em dois solos diferentes.

Foram adicionados em dois tipos de solos mais representativos da região de Paraúna, com a finalidade de verificar o potencial deste material em duas granulometrias, para fornecer nutrientes aos solos, além de melhorar as capacidades físicas e químicas dos mesmos. Objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito de doses de basalto moído nos teores de nutrientes nos solos.

Foram utilizados um solo arenoso quartzarênico e um solo argiloso, ambos de áreas de pastagens antigas, intemperizadas e de baixas CTC. Foram retirados em uma camada de 0 a 20 cm de solo, para serem estudados os índices dos minerais nos solos. A rocha basáltica da formação da Serra Geral foi coletada na área da empresa em estudo.

Os tratamentos consistiram na incorporação e incubação de 5 (cinco) doses de pó de rocha e mais 4 repetições de cada dose (0, 2,5, 5, 10, 15 g/dcm²), correspondentes a (0, 2,5, 5, 10, 15 tnl/ha), para o solo argiloso e (0, 2,4,8,12g/dcm²) ou (0, 2,4,8,12 tnl/ha), para o solo arenoso, sendo as doses obtidas pelos cálculos de PRNT para cada um dos dois tipos de solo, com granulometria do pó de rocha com 100% abaixo de 0,3 mm e repetidos, igualmente, com o pó de rocha de granulometria abaixo de 2 mm, sendo mais de 50 % abaixo de 0,3 mm. Será feita, também, a incubação destes dois solos com Carbonato de Cálcio P.A para efeito comparativo de análise nas doses (0, 0,7g, 1,4g, 2,8g, 4,2g), para o solo argiloso e (0, 0,5g, 1g, 2g, 3g), para solo arenoso, totalizando 110 vasos de 380 ml de volume cada, correspondentes a uma área de 10 cm por 10 cm em cada vaso, simulando o solo recebendo basalto em pó na lavoura.

Após a incorporação do basalto moído ao solo e por um período de 60 dias de incubação, com saturação de água mantida a 80%, calculada em relação ao peso do solo seco, o solo foi, então, analisado quanto aos teores de Ca, Mg, K, P, CTC, ph e outros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os gráficos a seguir mostram os resultados da pesquisa de incubação, demonstrando as alterações nos teores de nutrientes minerais nas análises dos solos pesquisados, após os 60 dias de incubação:

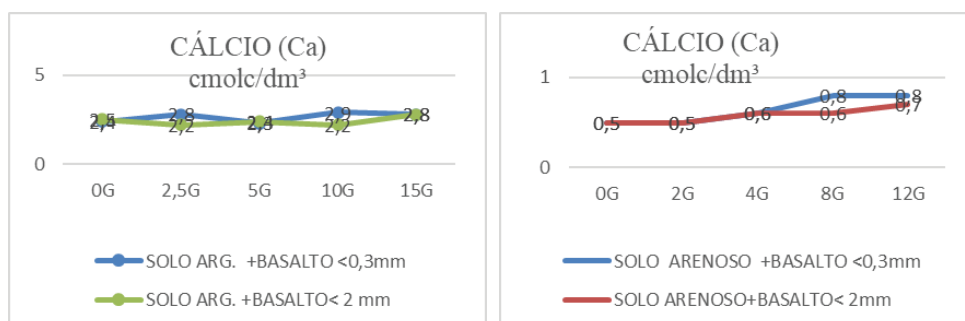


Figura 1: Análise de Cálcio

Analisando os gráficos dos teores de nutrientes, podemos concluir que o nutriente cálcio, em solo argiloso, teve um acréscimo de aproximadamente 10% no teor utilizando o pó de basalto abaixo de 0,3 mm, e 10% na granulometria abaixo de 2mm. Já em solo arenoso, o cálcio teve maior elevação, com aproximadamente 50% no teor com doses (8 e 12g/dcm²), correspondentes a 8 e 12 ton. por hectare, na granulometria menor que 0,3mm e próximo de 30% na fração menor que 2mm do pó (Figura 1).

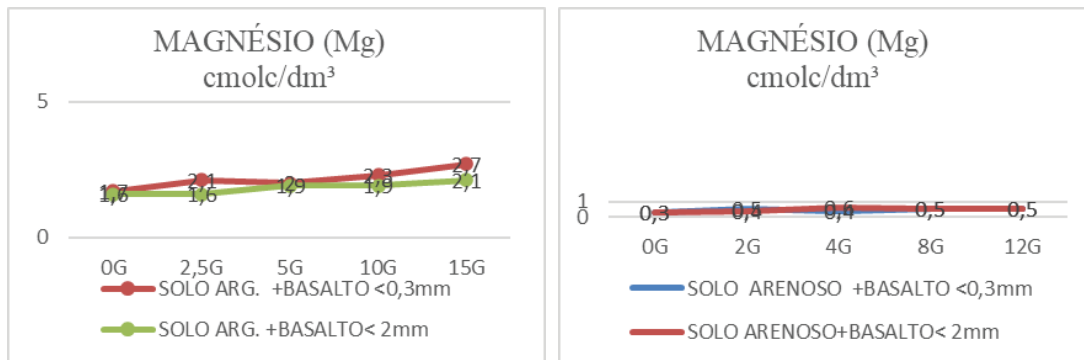


Figura 2: Análise de Magnésio

O nutriente magnésio, em solo argiloso, aumentou em média 50% na granulometria abaixo de 0,3mm e na faixa de 30% de elevação na granulometria abaixo de 2mm. Em solo arenoso, teve um acréscimo de 100% do nutriente no solo, na dose de 4g/dcm² correspondente a 4ton. por hectare, sendo que na granulometria abaixo de 2mm, teve um acréscimo médio de 30% nesta mesma dose. Porém, com o aumento das doses para 2 ou 3 vezes a dose base (4tnl/hectare), os resultados de acréscimo se igualam a 60% de aumento no teor de magnésio, nas duas granulometrias (Figura 2).

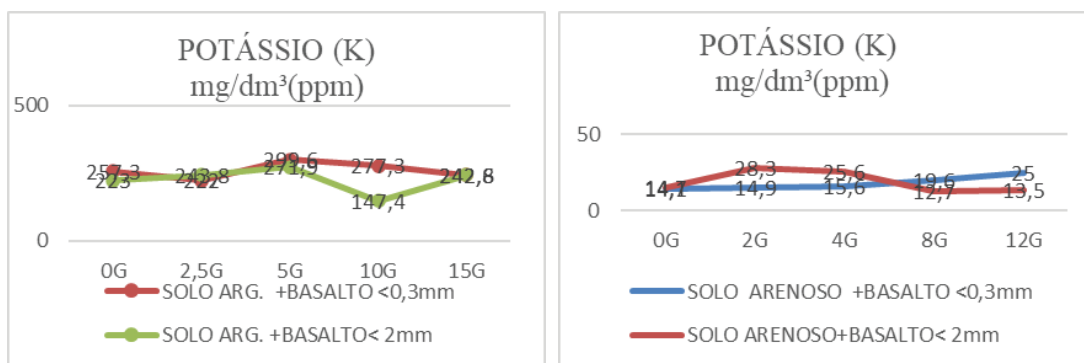


Figura 3: Análise de Potássio.

O nutriente potássio em solo argiloso teve um aumento de aproximadamente 20% na concentração na dose base de 5g/dcm², correspondente a 5tnl/hectare, tanto na granulometria abaixo de 0,3mm quanto abaixo de 2mm. Em solo arenoso, utilizando meia dose, destacou-se

na granulometria abaixo de 2mm, aumentando em quase 100% o índice de potássio com bom resultado também na dose base de 4g/dcm² ou 4tnl/hectare, nesta mesma granulometria (Figura 3).

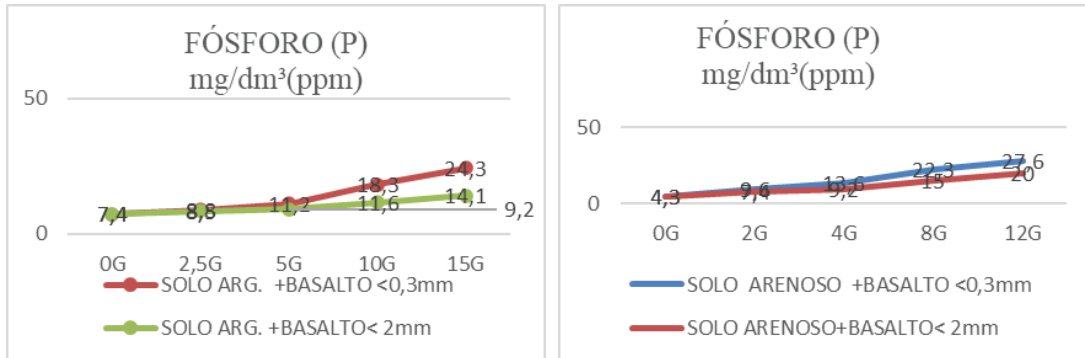


Figura 4: Análise de Fósforo.

Através dos resultados, verificou-se, de forma muito interessante, às alterações nas análises de solo, mostrando a influência positiva da adição do pó de basalto preto de Paraúna nos teores do nutriente fósforo nos solos. Houve aumento progressivo do nutriente fósforo no solo, de acordo com o aumento das doses de pó de basalto em ambos os solos, com acréscimos em solos argilosos próximos de 300 % na granulometria abaixo de 0,3 mm e próximo de 100% de elevação do nutriente no solo na granulometria abaixo de 2mm, além de aumentos próximos a 700% em solos arenosos com o pó de rocha abaixo de 0,3 mm e próximo de 500% de acréscimo na granulometria abaixo de 2mm neste solo arenoso, também. (Figura 4). Abaixo, será analisada a alteração do pH, comparada com carbonato de cálcio p. a.: (Figura 5).

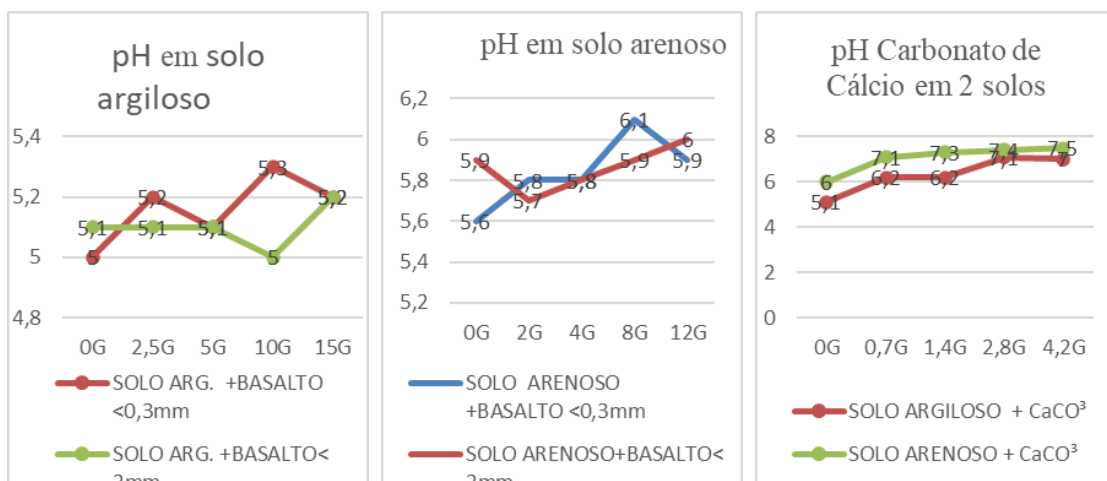


Figura 5: Análise de pH.

Em relação à correção de pH, ao longo dos 60 dias de incubação, constatou-se que em solo argiloso teve elevação de 5% em média, já em solo arenoso, aumentou na faixa próxima de 10% os índices de ph, onde em granulometria diferente, abaixo de 0,3mm ou abaixo de 2mm, gerou resultados bem aproximados.

Comparado com os vasos com carbonato de cálcio p. a., para efeito corretivo de ph, verificou-se que em solo argiloso o pó de basalto elevou até em média de 5% o ph, com dose de 10g/dcm² correspondente a 10 ton/hectare, na granulometria abaixo de 0,3 mm. Já no solo arenoso houve um acréscimo até próximo a 10% como verificado acima. Sendo que o pó, na granulometria abaixo de 2mm, também fornece resultados próximos aos do filler (abaixo de 0,3mm). O carbonato de cálcio elevou o ph progressivamente até próximo a 30 %, em solo arenoso e próximo a 40%, em solo argiloso.

Verifica-se que o pó de basalto fornece minerais capazes de elevar o ph do solo de forma mais lenta e em menor concentração do nutriente cálcio em relação ao carbonato de cálcio p. a., porém com maior elevação de magnésio, em ambas as granulometrias.

A CTC em solo argiloso elevou na faixa de até aproximadamente 30%, na faixa abaixo de 0,3mm de granulometria do pó e até próximo de 10%, com o pó abaixo de 2mm. Já em solo arenoso, teve acréscimo de até 5%, na granulometria abaixo de 0,3mm e de aproximadamente 15% de aumento da CTC, na medida abaixo de 2mm do pó da rocha.

A saturação de base em solo argiloso aumentou até a faixa de 37%, com o pó abaixo de 0,3mm e em média 20%, com pó abaixo de 2mm de grãos. Em solo arenoso houve elevação de 32% em média, na granulometria abaixo de 0,3mm e na faixa de até 26% de aumento, na granulometria abaixo de 2mm.

O zinco elevou em solo argiloso até 100%, na fração do pó abaixo de 0,3mm e 34%, na fração abaixo de 2mm. Em solo arenoso, elevou até 160%, na fração de pó abaixo de 0,3mm e até 40%, na fração até 2mm.

Já foram mostrados excelentes resultados com ganhos de até 30% de produtividade como, por exemplo, na cana de açúcar, que aumentou até 46tnl/hectare com um acréscimo de basalto, além dos fertilizantes que já eram utilizados, anteriormente (Crusciol,2019).

Os benefícios que esse mix de plantas de cobertura diversas proporcionam são muitos: favorecer a infiltração de água, proteger o solo, reciclar nutrientes e diminuir a população de nematoides e ervas daninhas. “Ou seja, vai promover o maior equilíbrio ao solo e aumentar a biodiversidade e microbiota”. (Callegari, 2006). “Na rocha há a presença de grande diversidade de elementos químicos. Nas plantas foram identificados mais de 70 elementos químicos (Pinheiro & Barreto, 2005). Demonstrando a importância da diversidade de macro e micronutrientes para as plantas. Além destes, outros pesquisadores como a agrônoma Ana Maria Primavesi, o professor Bernard

Knapic, que destacam que devemos simular a natureza buscando alcançar o equilíbrio nos solos através da diversidade mineral de macro/micronutrientes, também com a implantação de diferentes culturas de cobertura, recriando a biodiversidade da natureza buscando favorecer os diferentes tipos de vida no solo.

Formando ambientes mais equilibrados, saudáveis, menos propensos às pragas, às doenças, como citado por Francis Chaboussou, no livro Teoria da Trofobiose: “O equilíbrio da composição mineral do solo é condição sine qua non para a sua fertilidade” (Chaboussou,2015). Mostra, também, que um manejo ideal é fundamental para a manutenção da fertilidade e qualidade do solo, ou seja, devemos simular a biodiversidade da natureza. Também funciona assim nesta tecnologia de rochagem ou remineralizadores, onde o tripé é formado por Coquetel (mix, mistura) de plantas de cobertura, Micro-organismos eficientes e Remineralizadores.

CONCLUSÃO

A pesquisa mostrou acréscimos muito expressivos de nutrientes, tanto nos solos argilosos quanto nos arenosos, com a aplicação do pó de basalto preto colunar de Paraúna. De maneira geral, como mostrado nos resultados acima, elevou-se os teores de cálcio (em até 50%), de magnésio (em até 100% em solo arenoso), de potássio (em até 100% em solo arenoso), da CTC (em até 30%), da soma de bases (em até 37%), do pH (em até 10%), e chamou a atenção a grande elevação dos índices de fósforo no solo (em até 700% em solo arenoso e até 300% em solo argiloso).

Mostra-se eficiente, econômica, sustentável a utilização de recursos minerais regionais, como este basalto colunar preto de Paraúna, em busca de redução de custos das produções agrícolas, onde estes minerais possam melhorar as condições do solo em relação a diversos nutrientes. Este trabalho mostrou a eficiência do uso do pó de basalto colunar preto de Paraúna na elevação dos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo, proporcionou o aumento de pH, elevação da CTC do solo, além de outras pesquisas sobre o basalto possuem características físico-químicas como propriedades de isolamento térmico, resistência mecânica, magnetismo, grande superfície específica dos minerais.

REFERÊNCIAS

- Callahan, Philip, S. PhD (1995) Paramagnetismo - Redescobrimo a Força Secreta do Crescimento da Natureza
' Acres USA, Austin, Moore Alanna (2001) Stoneage Farming - Agricultura ecológica para o século XXI.
Imprensa Python.
- CALEGARI, A.. Plantas de cobertura, p. 55-73. In: CASÃO JR., R.; SIQUEIRA, R. MEHTA, Y.R.;
- CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; AND CASTRO, G.S.A. CRUSCIOL, C.A.C.;
- CASTRO, G.S.A.; SORATTO, R.P.; COSTA, C.H.M.; FERRARI NETO,

CHABOUSSOU, F. Plantas doentes pelo uso de agrotóxicos: a teoria da trofobiose Porto Alegre-RS: L & PM, 1987. 256p.

Hamaker, John D, and Weaver, Donald A. The Survival of Civilization Depends Upon Our ... (Special PDF edition prepared by Weaver for the www, 2002).

Knapik, J. G. UTILIZAÇÃO DO PÓ DE BASALTO COMO ALTERNATIVA À ADUBAÇÃO

POTENCIAL GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO NA PRODUÇÃO DE REMINERALIZADORES

ALCIDIO PINHEIRO RIBEIRO

Rua Francisco Lucas de Almeida, 262. Cep. 18409-290 – Itapeva – SP

alcidio.ribeiro@etec.sp.gov.br

Resumo

Nos períodos Pré-Cambriano e Mesozoico, do Estado de São Paulo, temos registros de rochas ígneas e metamórficas de composições químicas e mineralógicas variadas, porém exploradas predominantemente para produção de agregados para a construção civil, onde o que mais importa são seus atributos mecânicos e físicos. A maior parte dos processos ativos de mineração no Estado de São Paulo, onde essas rochas são exploradas, se destina ao mercado citado, e um grande percentual dos mineradores desconhece outro potencial de uso, assim como desconhece o conteúdo químico médio das jazidas que exploram. Nos resultados de mapeamento geológico, de modo geral, tampouco tem-se, frequentemente, informações sobre a composição química das unidades geológicas. Assim, acabam sendo desconhecidas a existência de jazidas que podem servir para a produção de remineralizadores ou pó de rochas, aplicados à agricultura. Trabalhando com base de dados de mapeamentos geológicos oficiais, do Estado de São Paulo, gerados pelo CPRM, e tomando-se da literatura técnica informações de composições químicas modais das rochas, tendo em conta as especificações e garantias mínimas em termos de composições de macro e micronutrientes estabelecidas na IN MAPA 05/2016, destacamos, aqui, do território do Estado de São Paulo, fontes de recursos minerais que podem ser explorados como remineralizadores de solo, em função de suas adequações quanto aos conteúdos químicos estimados.

Palavras-chaves: Geologia, Remineralizadores, Estado de São Paulo.

1. INTRODUÇÃO

Com o objetivo de se conhecer o potencial mineral do Estado de São Paulo como fonte de remineralizadores do solo, pesquisou-se o banco de dados de mapeamento geológico do Estado pelo CPRM, destacando-se, das litologias mapeadas, aquelas que potencialmente podem ser aproveitadas como remineralizadoras de solo, com base em suas composições químicas.

A seleção de rochas potenciais teve como base composições químicas médias, citadas na literatura geológica pesquisada, e referenciada ao final do texto, e seus enquadramentos relativos às especificações exigidas para uma série de elementos, destacada pela IN MAPA 05/2016. Os resultados são aqui apresentados e discutidos.

2. METODOLOGIA

Foi utilizado o banco de dados do CPRM (2006), contido na produção do Mapa Geológico do Estado de São Paulo, escala 1:750.000, disponibilizado na forma de arquivos GIS. O mapa gerado no trabalho do CPRM (op.cit.) é mostrado na **Figura 2.1**.

A “tabela de atributos” do *shape*, contendo as litologias mapeadas pelo CPRM (op. cit.), foi trabalhada como banco de dados, incorporando-se campos de registros de teores dos principais componentes químicos constituintes de minerais e rochas mapeados no Estado de São Paulo, obtidos junto às diversas fontes bibliográficas. Assim, pode se ampliar a base de dados com as composições químicas médias das rochas relacionadas no campo “Litotipo1”. Os dados de análises químicas dos diversos litotipos relacionados foram comparados com as especificações contidas na Instrução Normativa 05/2016, onde se encontram indicados os teores mínimos e máximos para os elementos CaO, MgO, K₂O, Cl, Fe, Mn, Zn, Cu, Si, Bo, Se, Co, Mo, Ni, As, Cd, Hg e Pb, definidos na Instrução Normativa citada.

Com esse tratamento foram selecionadas as rochas que contém composições, segundo dados de resultados de análises consultados, atendendo às seguintes especificações:

- Soma de bases (CaO, MgO, K₂O) igual ou superior a 9%;
- Teor de potássio (K₂O) igual ou superior a 1%, em peso;
- Teor de sílica livre, na forma de quartzo, menor que 25%;
- Concentração de arsênio (As) menor que 15 ppm; cádmio (Cd) menor que 10 ppm; mercúrio (Hg) menor que 0,1 ppm e chumbo menor que 200 ppm.

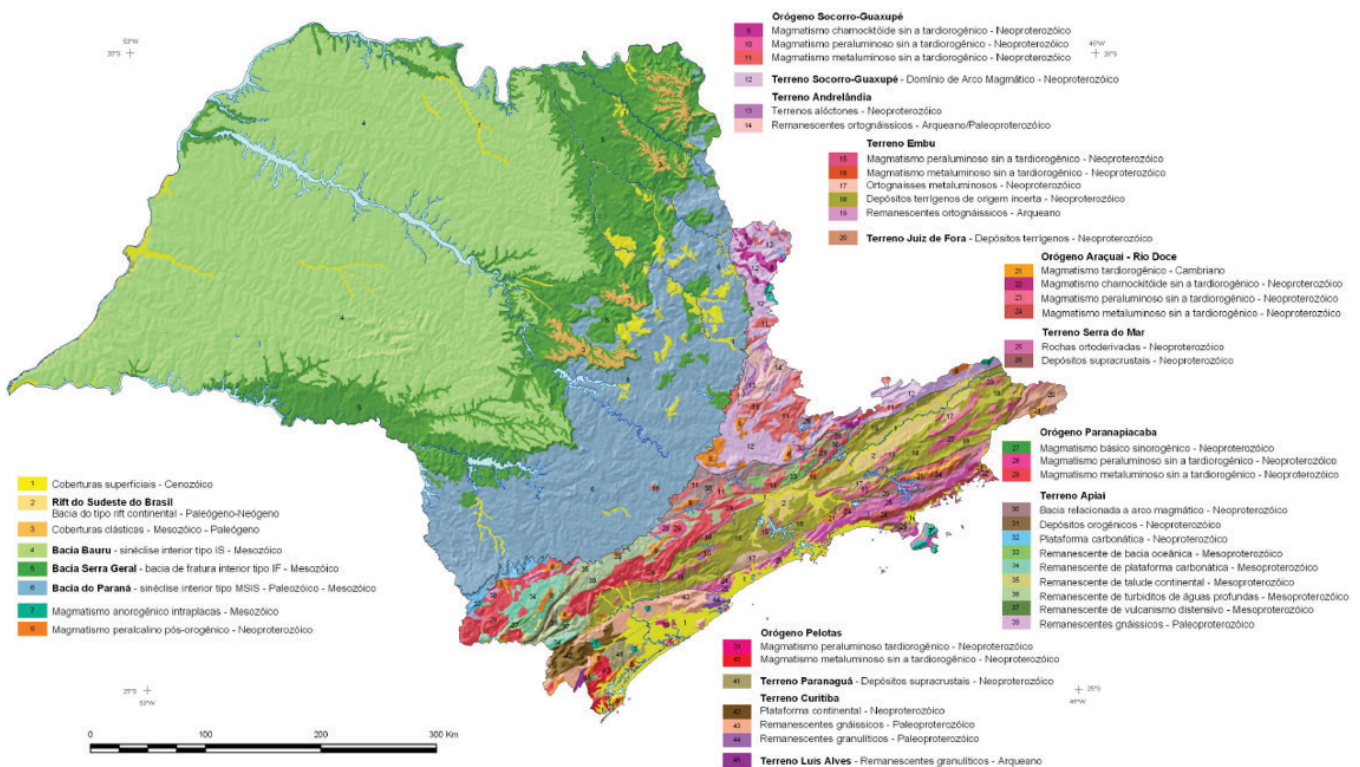


Figura 2.1 Mapa geológico do Estado de São Paulo produzido. Fonte: CPRM (2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

De uma série de setenta e seis (76) litotipos mapeados no território do Estado de São Paulo, buscando dados bibliográficos sobre suas análises químicas, foram encontrados registros de 12 tipos rochosos e formações cujas composições químicas em macro elementos atendem aos requisitos de aplicação como remineralizadores. Desse total, dez (10) tipologias se distribuem por formações geológicas do período Pré-Cambriano, predominantemente compostas por rochas ígneas plutônicas e vulcânicas. Dois (2) registros foram encontrados em unidades sedimentares, quais são: Formação Estrada Nova, Membro Teresina, de idade Paleozoica, e Formação Tremembé, Cenozoica, Terciária. Na **Tabela 3.1** mostramos as composições básicas das litologias e formações estudadas no Estado de São Paulo, com potencial para serem aproveitadas como remineralizadoras de solo.

Tabela 3.1 Composições químicas medias de unidades rochosas mapeadas no Estado de São Paulo

Minerais/Rochas	CaO	MgO	K2O	Ca+Mg+K	Na2O	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	FeO	MnO	P2O5	Ref. Bibliografica
Andesito	6.79	3.33	2	11.74	3.48	57.9	0.87	17	3.27	4.04	0.14		Winter (2001)
Basalto	8.36	3.13	2	13.28								0.79	Reminer®
Charnoquito	3.59	1.19	4	8.94	2.3	64	1.25	13.9		7.63	0.15	0.47	Robin (2010)
Diabasio	8.5	5.6	1	15.08	1.86	46.5	3.1	16	8.4	7.9	0.12	0.45	Melfi et al. (1962)
Diorito	7.13	3.8	2	12.44	3.59	55.3	0.94	17.4		7.04	0.14	0.24	Robin (2010)
Fm Tremembé	3.1	3.2	4	9.80	0.33	56.3	0.92	20.5	10.5		0.19	0.62	Ribeiro (2008)
Fm. Estrada Nova (Mb Terezina)	9.07	1.96	3	13.63	0.92	59	0.47	11.3	3.42		0.11	0.18	Christofoletti (2018)
Gabro	9.58	7.59	1	18.10	2.39	50.1	1.12	15.5	3.01	7.62	0.12	0.24	Wernick (2004).
Granodiorito	4.8	2.5	3	10.52	3.25	62.8	0.7	15.7		5.08	0.09	0.18	Melfi et al. (1962)
Piroxenito	14.5	16.04	1	31.16	0.92	46.3	1.47	7.16	4.27	7.18	0.16	0.38	Wernick (2004).
Tinguaito	6.13	1.89	4	12.27	5.82	45	2.35	19.3	5.97	3.52	0.4	0.19	Valarelli et al. (1985).
Xisto	3.5	2.82	4	10.28	1.13	64.7	0.8	17		5.69	0.25	0.15	Winter (2001)

A distribuição dos tipos rochosos, destacados na **Tabela 3.1**, podem ser observadas, em sua distribuição espacial, no mapa da **Figura 3.1**.

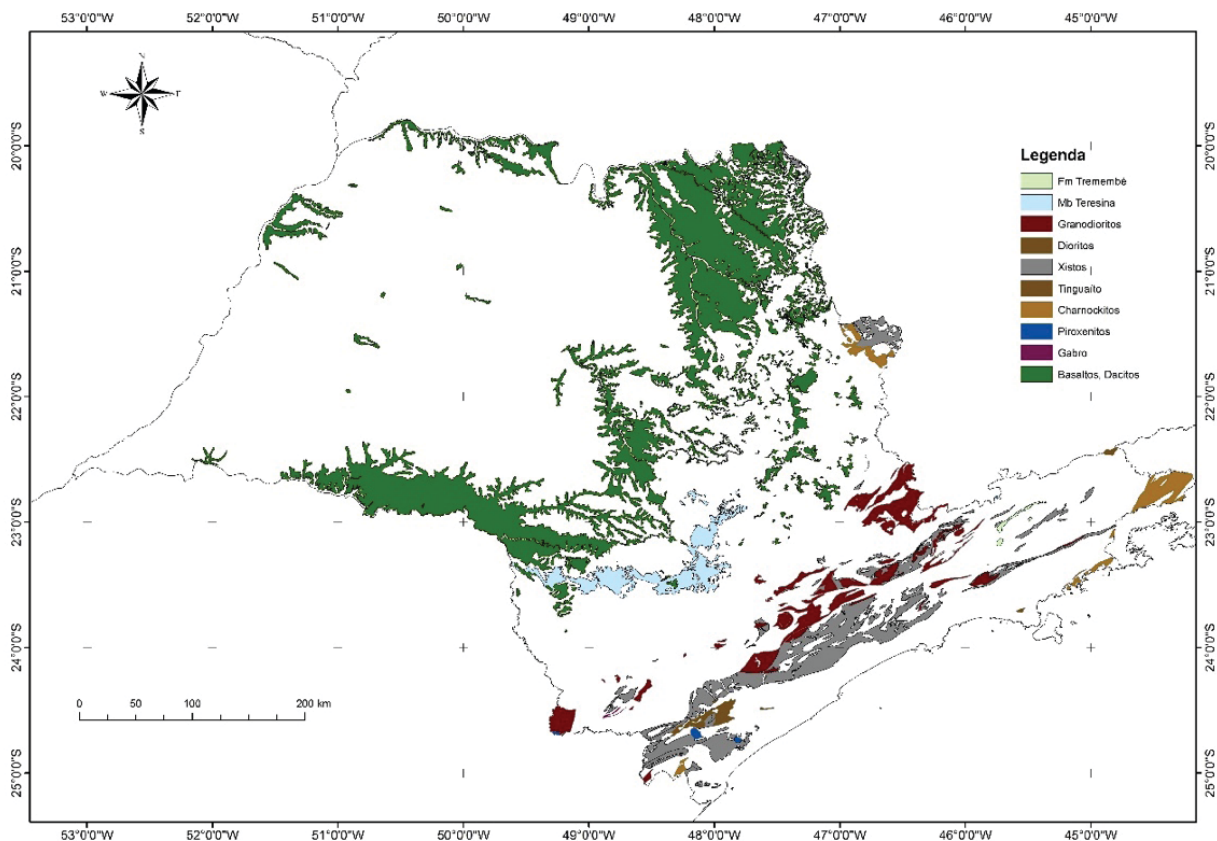


Figura 3.1 Mapa do Estado de São Paulo, com a distribuição espacial das unidades geológicas que apresentam composições químicas que indicam suas potencialidades para a produção de remineralizadores.

Uma das referências em termos de composições químicas tomadas, relativo às rochas basálticas, foi extraída de material de divulgação do Grupo Siqueira (2015), que produz o remineralizador registrado como *Reminer* (Figura 3.2), como um de seus produtos.

O QUE SÃO OS REMINERALIZADORES

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA, através da Lei 12.890 de 10 de Dezembro de 2013, define:

“REMINERALIZADORES são materiais de origem mineral que tenham sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que alterem os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promovam a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.”

Os remineralizadores são considerados adubos inteligentes pois disponibilizam os nutrientes de forma gradual, a medida que o solo e a planta necessitam. São considerados insumos de base para a Agricultura de Baixo Carbono, pois não liberam gases do efeito estufa e não lixiviam no solo.

RECUPERAÇÃO E REVITALIZAÇÃO DOS SOLOS AGRÍCOLAS
JUNTE-SE A ESSA CAUSA!






INFORMAÇÕES:
Botucatu/SP: (14) 3354-0500
Lençóis Paulista/SP: (14) 32647184

REPRESENTANTES:

REMINER® é um produto do Grupo Siqueira



www.gruposiqueira.com.br








FILER SIQUEIRA: PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Composição Química:

- 49% de Óxido de Silício;
- 8,36% de Óxido de Cálcio;
- 3,13% de Óxido de Magnésio
- 1,79% de Óxido de Potássio
- 0,79% de Fósforo (P₂O₅)

Presença de mais de 40 oligoelementos diretamente relacionados a gênese biológica do solo: interação permanente com ácidos orgânicos, enzimas e microrganismos, incrementando a diversidade de nutrientes disponíveis para a planta com melhoria geral da qualidade do solo.

Liberação gradual e controlada de nutrientes conforme necessidade da planta – efeito sinérgico com o ambiente de raiz (rizosfera).

Granulometria:

- Maior superfície de contato, melhor reatividade devido aos diferentes gradientes granulométricos.

PENEIRA		
ABNT	Tamano (milímetros)	% PASSANTE
nº 40	0,425	98,8
nº 50	0,300	91,4
nº 80	0,180	75,2
nº 200	0,075	58,1

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

Capacidade de Troca Catiônica
CTC de 30,8 mmol/dm³ – (IAC):
CTC (Efetiva): 138,94 mmol/dm³ – (EESC/USP – São Carlos)

- Melhor rendimento e aproveitamento dos minerais solúveis no solo;
- Menor lixiviação e percolação de nutrientes;

Capacidade de Retenção de Água de 41,2% – (IAC):

- Melhor balanço hídrico na relação solo-planta
- Melhor resistência ao estresse hídrico

Padrão granulométrico e uniformidade de aplicação



RECOMENDAÇÃO DE USO:

Por se tratar de mineral de formação do solo e de liberação controlada de nutrientes, não existe restrições de uso. Os volumes aplicados variam de 2 a 4 Toneladas/ha. Devidos as características de produção do REMINER, os resultados são percebidos já no primeiro ano.

MODO DE APLICAÇÃO:

Aplicação direta no solo, não precisa ser incorporado quando aplicado em culturas já instaladas. Recomendada-se incorporação em operações de plantio, levando produto para perfis mais profundos do solo.

Utiliza-se o mesmo procedimento e implementos para aplicação de calcários e corretivos.

RESULTADOS NA PLANTA

- Maior vigor e melhor aproveitamento dos nutrientes;
- Melhor sanidade e incremento da atividade biológica do solo;
- Melhor arquitetura da planta com aumento do desempenho fotossintético da planta;
- Fortalecimento dos tecidos e menor ataque de pragas sugadoras e mastigadoras;
- Melhor enraizamento devido a maior disponibilização de fósforo;
- Melhor produtividade devido as características físico químicas do solo.

Figura 3.2 Material de divulgação de produto obtido da lavra de rochas basálticas exploradas na região centro-oeste do Estado de São Paulo.

Analisando as distribuições de processos minerários ativos na ANM no Estado de São Paulo, para as substâncias minério, com potencialidade para produção de remineralizadores, veremos que cerca de 80% é aproveitado para produção de materiais para a construção civil.

Se levarmos em conta que dos usos “não informados”, constantes no banco de dados do órgão citado, a maior parte tem o mesmo destino, a construção civil, podemos estimar algo em torno de 90% da produção para esse segmento (**Tabela 3.2**), sendo o Grupo Siqueira uma das poucas exceções.

Tabela 3.2 Usos declarados de processos ativos na ANM do Estado de São Paulo para as rochas com potencial para produção de remineralizadores.

Minério	Brita	Revestimento	Pedra de talhe	Industrial	Não informado	Total Geral
ANDESITO						
BASALTO	266	46	5	2	100	419
CHARNOQUITO		4			4	8
DIABÁSIO	124	15			35	174
DIORITO					2	2
GABRO		4			3	7
GRANODIORITO					1	1
PIROXENITO	1					1
TINGUAÍTO						
XISTO		2			5	7
Total Geral	391	71	5	2	150	619

Fonte: ANM, Sigmire (2019)

4. CONCLUSÕES

São Paulo tem áreas extensas com litologias compatíveis quimicamente para a produção de remineralizadores do solo.

A maioria dessas jazidas é atualmente aproveitada para atendimento exclusivo da construção civil. Porém, já se observa, isoladamente, o aproveitamento de finos de pedreira, com minérios quimicamente compatíveis, sendo registrados e comercializados como remineralizadores de solo no Estado, por grandes grupos.

Via de regra, os finos gerados nas pedreiras são compostos de minerais mais friáveis, mais ricos quimicamente do que os macros elementos que foram o grosso da massa rochosa explorada, portanto qualitativamente melhor para o mercado de agricultura. O conhecimento maior das jazidas em lavra, em termos de composições mineralógicas e químicas, assim como

do mercado de pó de rochas e de remineralizadores, pode levar a um crescimento maior da produção para tais fins.

Embora, comparado a outros estados da nação, São Paulo não possua grandes extensões de áreas agriculturáveis, tem, hoje, importantes polos agrícolas. Na região de Itapeva, sudoeste, tem-se a maior produção de soja do Estado, se dando sobre solos areníticos, das Formações Furnas e Itararé, Paleozoicos, que precisam ser remineralizados, por serem pobres em bases.

A forma intensiva como vem sendo conduzida a agricultura, para o modelo de exportação envolvendo rotações culturais, acelera o empobrecimento do solo, aumentando a necessidade de reposições de elementos químicos, preferencialmente naturais.

O presente trabalho pode contribuir como guia prospectivo para descoberta e aproveitamento mais amplo de rochas hoje apenas destinadas à construção civil

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- CHRISTOFOLETTI, S.R. Caracterização das rochas da Formação Estrada Nova como matéria prima cerâmica no Estado de São Paulo, BR. São Paulo, Revista do IG, 2018
- EMBU S.A. <https://www.mfrural.com.br/detalhe/310334/po-de-rocha-biotita>. Acesso em 29 de julho de 2020.
- GRUPO SIQUEIRA. Catálogo produto REMINER. Obtido, em mãos, de representante comercial em 2015.
- MELFI, A.J. & GIRARDI, V.A.V. Ocorrência de um still de diabasio no Arenito Botucatu, Município de Igarapava, SP. Revista Boletim da SBG, v. 11, n. 2. São Paulo, SBG, 1962.
- RIBEIRO, A.P. Avaliação das características físico-químicas e mineralógicas de argila explorada comercialmente na região de Tremembé, SP. 52º Congresso Brasileiro de Cerâmica. Florianópolis, ABC, 2008.
- ROBIN, G. Igneous rocks and processes: a practical guide. London, John Wiley & Sons, 2010.
- VALARELLI, J.V.; COUTINHO, J.M.V.; MADUREIRA FILHO, J.B.M.; GOMES, C.B. O tinguaito de Jaboticabal, SP. Boletim IG-USP. Série Científica, 16: 1 - 10. São Paulo, IG-USP, 1985.
- WERNICK, E. Rochas magmáticas: conceitos fundamentais e classificação modal, química, termodinâmica e tectônica. São Paulo, Editora Unesp, 2004.
- WINTER, J.D. An introduction to igneous and metamorphic petrology. New Jersey, Printice-Hall Inc., 2001

O POTENCIAL DE ROCHAS E MINERAIS COMO FONTE DE INSUMOS AGRÍCOLAS, EM ANGOLA

ANTÓNIO OLÍMPIO GONÇALVES¹ SUZI HUFF THEODORO², GUSTAVO ROSA ALMEIDA³,
DANIEL DA PURIFICAÇÃO¹, RICARDO REIS¹, EDUARDO ALVES MORAIS¹

¹Universidade Agostinho Neto, Avenida 4 de Fevereiro nº 71. E-mail: tonygoncalves@ciciga-uan.co.ao;dapuri@gmail.com;mldmorais@netangola.net

²Universidade de Brasília/Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural. E-mail: suzitheodoro@unb.br

³Universidade de Brasília/Instituto de Geociências. E-mail: geol.rosag@gmail.com

Resumo: Angola possui vastos recursos naturais, em especial, aqueles relacionados ao setor mineral. Petróleo, diamantes e pedras ornamentais estão entre seus principais recursos. Na região sudoeste do País ocorrem maciços ultrabásicos e alcalinos, de idades que variam do Proterozoico Inferior ao Cretáceo Inferior e que se encontram encaixados em rochas graníticas. Trata-se do Complexo Gabro Anortosítico do Cunene (constituído por rochas anortosíticas, hornblenditos e peridotíticas) e pelo Maciço Alcalino Vulcânico (composto por riólitos, dacitos, basalto e basalto olivínico). Este amplo espectro de rochas possibilita usos não convencionais, por exemplo, como insumos agrícolas (dos quais Angola é totalmente dependente do mercado internacional), já que tais rochas possuem uma combinação mineralógica com um conteúdo significativo dos principais macronutrientes (K, P, Ca e Mg) e micronutrientes (Mo, Zn, Cu, Va etc.), benéficos ao desenvolvimento das plantas. O uso de rochas moídas para remineralizar e rejuvenescer solos degradados ou intemperizados é o principal pressuposto da tecnologia da Rochagem, que visa melhorar a fertilidade dos solos. Neste trabalho, propomos o uso de algumas rochas (ou seus subprodutos) para melhorar o perfil de fertilidade dos solos da região sudoeste de Angola, favorecendo, assim, a ampliação da produção de alimentos e a redução de custos e das desigualdades sociais.

Palavras-chave: Complexo Gabro-Anortositico do Cunene, Rochagem, Remineralizadores

Abstract: Angola has vast natural resources, especially related to the mineral sector. Oil, diamonds and ornamental stones are among its main resources. In the southwest region of the country there are ultrabasic and alkaline massifs, with ages varying from the Lower Proterozoic to the Lower Cretace and which are embedded in granitic rocks. It is the Cunene Gabro Anortositic Complex (constituted by anortositic, hornblendite and peridotitic rocks) and by the Alkaline Volcanic Massif (composed of rhyolites, dacites, basalt and olivine basalt). This h spectrum of rocks allows for unconventional uses, for example as agricultural inputs (on which Angola is totally dependent on the

international market), as these rocks have a mineralogical combination, with a significant content of the main macronutrients (K, P and Ca/Mg) and micronutrients (Mo, Zn, Cu, Va etc.) beneficial to the development of plants. The use of crushed rocks to remineralize/rejuvenate degraded or weathered soils is the main assumption of Rochagem's technology, which aims to improve soil fertility. In this work, we propose the use of some rocks to improve the fertility profile of soils in southwest Angola, favoring the expansion of food production and the reduction of cost and of social inequalities

Keywords: Cunene Gabro-Anortositic Complex, Stonemeal, Remineralizers

INTRODUÇÃO

Angola é um país com grande diversidade geológica, o que favorece a exploração mineral. Possui grande parte do seu Produto Interno Bruto (PIB) centrado na exploração de petróleo, em um modelo que privilegia as grandes corporações internacionais do setor (Rodrigues, 2013). Segundo o relatório de Análise da Conjuntura Económica e Financeira do 1º semestre de 2019 (Angola, 2019), o País teve sua maior arrecadação a partir dos seguintes setores: energia (26,02%), comércio (15,97%) e diamantes e outros serviços (6,07%). A concentração na exploração de recursos naturais, cujos preços são regulados pelo mercado internacional, coloca o País em uma situação de desvantagem, já que as principais fontes de receitas ficam reféns das flutuações de preços arbitrados internacionalmente. China e Portugal são seus principais parceiros comerciais.

A produção de alimentos para atender uma população de mais de 32 milhões é outra fragilidade Angolana, uma vez que uma parte considerável dos produtos são importados com recursos derivados da exportação de petróleo. Segundo a FAO, cerca de 54% da população ainda vive em áreas rurais. Nesse sentido, é necessário encontrar mecanismos que garantam renda e alimentos para esse grande contingente da população, que, em muitos casos, vive abaixo da linha da pobreza.

Um País tão rico, do ponto de vista de recursos naturais, não pode permitir que sua população não se beneficie da exploração desses recursos. Ampliar as políticas públicas relacionadas à produção de alimentos fortalecerá a segurança alimentar e nutricional do seu povo e resultará em ganhos expressivos na renda da população rural e na produção de alimentos, bem como na diminuição dos gastos com a importação de fertilizantes solúveis, dos quais Angola é 100% dependente.

Considerando estes vários aspectos, o trabalho, que faz parte de uma parceria entre a Universidade Agostinho Neto e a Universidade de Brasília, sugere a adoção de rotas de produção que envolvam o setor mineral e o agrícola. O fio condutor da proposta está relacionado ao uso de subprodutos da mineração para fertilizar os solos intemperizados, onde vive a grande maioria da população rural. Trata-se do uso da tecnologia da Rochagem, que, segundo Leonardos et al. (1976) e Carvalho et al. (2018), pode suprir de forma adequada a oferta de macro e micronutrientes aos solos, uma vez que a adição de determinados tipos de rochas, que contenham uma mineralogia de caráter mais alcalino, tende a enriquecer o solo e

recondicioná-lo química e, eventualmente, fisicamente. Theodoro e Leonardos (2006) sugerem que o uso de tais materiais possibilita o rejuvenescimento de solos empobrecidos quimicamente ou lixiviados, e fundamenta-se na busca do equilíbrio da fertilidade. Esses insumos podem estar disponíveis localmente e são mais baratos que os fertilizantes importados (MANNING; THEODORO, 2018).

Portanto, este trabalho apresenta os resultados preliminares de um estudo de caso que investiga o potencial de algumas rochas que pertencem ao Complexo Gabro-Anortosítico do Cunene, aos diques de doleritos da zona de Chibia e as rochas ácidas de composição riódacítica, bem como de basaltos toleíticos da bacia do Namibe.

Geologia regional

O Complexo Gabro Anortosítico do Cunene (CGAC) está localizado nas províncias da Huila e Cunene, no SW de Angola, em uma área de 15.000 km², com afloramentos de cerca de 30 a 50 km de largura e com uma extensão em torno de 300 km, de direção norte-sul, desde a região de Quipungo, até o rio Cunene. As rochas vulcânicas encontram-se na província do Namibe, ao longo da margem continental, numa extensão de mais de 100 Km, em direção à região Norte de Angola (Figura 1).

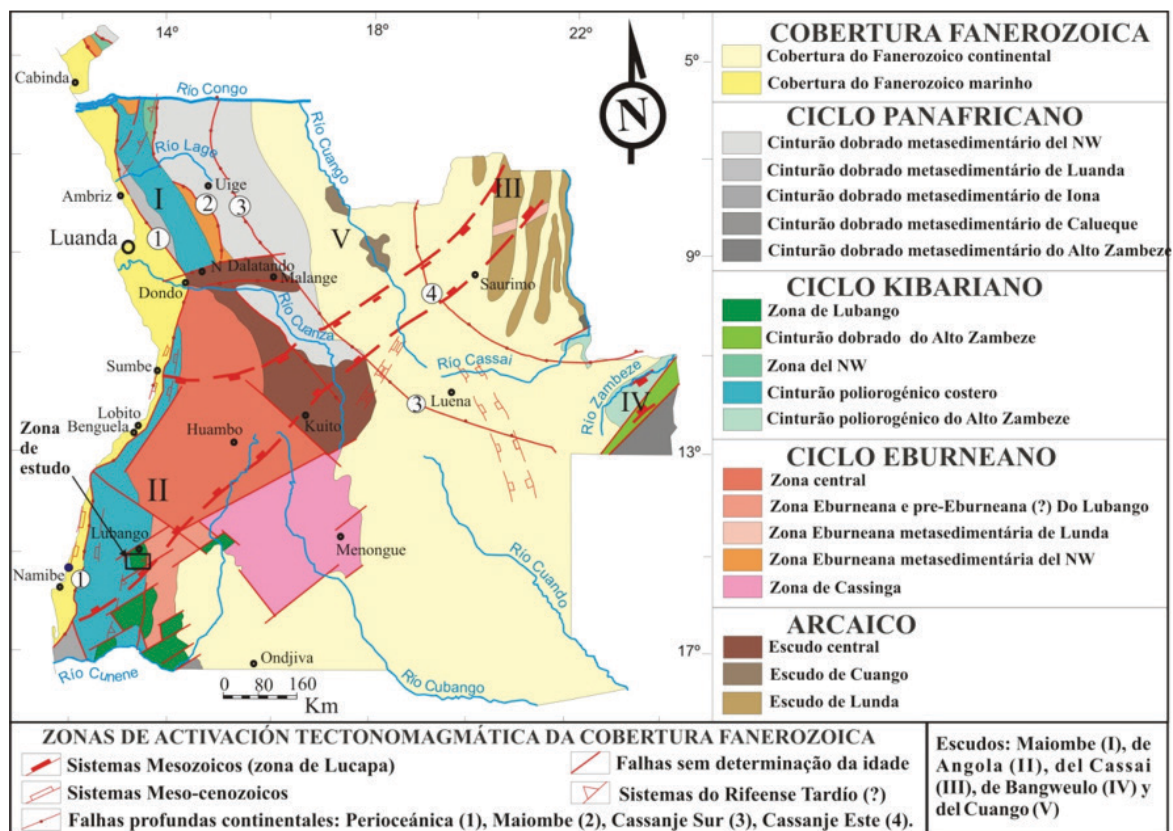


Figura 1. Mapa geológico e principais unidades geotectônicas de Angola.

Fonte: modificado a partir de SGA (1983), Araújo et. al 1998, Carvalho et al. (1993) e Gonçalves (2008)

O CGAC está dividido em dois ambientes, com base na diferença do conteúdo de anortita, sendo separados por um cinturão de granitos tipo A e riolitos porfíricos. Esse Complexo é constituído por anortositos maciços de granulação média a grossa (cerca de 90%) e anortositos bandados de granulação fina. Na borda contínua do CGAC, junto às rochas encaixantes, encontram-se diques de doleritos de granulação fina e composição heterogênea (variam entre microgabros olivínicos a microgabros com ortopiroxênio e/ou microgabros com anfíbolito), estando, provavelmente, ligados à sua implantação.

Na bacia Cretácica do Namibe ocorrem episódios vulcânicos, de idade Mesozoica (130 ma), concentrados ao longo da margem continental, constituídos por riolitos, riolacitos e basaltos, delimitando o contato com rochas do cristalino com essa Bacia (Marzulli et al.,1999). Essas rochas possuem quantidades apreciáveis de minerais zeolitizados. Ao norte da província do Namibe, ocorrem cones vulcânicos e alguns derrames de basaltos porfíricos com fenocristais de olivina, registrando-se, em alguns deles, a presença de xenólitos do manto, tais como: hawaiites, basaltos alcalinos e basanitos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo considerou amostras de rochas representativas da geologia relativa ao Complexo Gabro Anortosítico e do Maciço Alcalino Vulcânico, de onde foram coletadas três amostras. Foram confeccionadas lâminas delgadas de amostras de hornblendito, anortosito e basalto. As análises petrográficas foram efetuadas no laboratório de microscopia da Universidade de Brasília, utilizando o microscópio *ZEISS Imager A2m Axio*. As análises químicas foram feitas no laboratório SGS Geosol (Brasil), onde foram fundidas por tetraborato de lítio, analisadas por fluorescência de raios-x (para detecção de elementos maiores), submetidas à digestão por água-régia e analisadas por espectrometria de emissão óptica (*ICP-OES*), de massa (*ICP-MS*) e de absorção atômica (*ASS*) para detecção de elementos menores e elementos potencialmente tóxicos (EPT). Posteriormente, fez-se a comparação dos resultados dessas análises para averiguar o potencial litoquímico e mineralógico dessas rochas como remineralizadores de solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O anortosito apresenta coloração cinza, estrutura isotrópica e granulação grossa, sendo constituído por cristais de plagioclásio (An_{78} a An_{85}) e clinopiroxênio. Os cristais de plagioclásio (~ 90 a 95%) são subeuédricos a euédricos, inequigranulares e apresentam baixa a média densidade de fraturas (Fig. 2-A). Os cristais de clinopiroxênio são anédricos, inequigranulares (variando de 0,04 a 5,5 mm) e possuem alta densidade de microfraturas.

O hornblendito possui coloração verde escuro, estrutura isotrópica e granulação média a grossa (Fig. 2-B). É constituído por cristais de hornblenda, clinopiroxênio, biotita, magnetita e ilmenita. Os cristais de hornblenda (~88 a 93%) são anédricos a euédricos, inequigranulares, sendo os cristais de granulação grossa predominantes. Os cristais de clinopiroxênio (~ 10%) são euédricos e inequigranulares, com tamanhos entre 0,4 a 1,6 mm de comprimento e comumente encontram-se inclusos nos cristais de hornblenda (textura poiquilítica). Cristais de biotita apresentam-se intemperizados e compõem cerca de 3% da rocha.

O basalto porfirítico apresenta coloração preta, estrutura isotrópica e textura hipovítrea (maior proporção de vidro vulcânico em relação ao material cristalino). Apresenta aglomerados de fenocristais subcentimétricos de plagioclásio (An_{48} a An_{55}), clinopiroxênio e magnetita, os quais apresentam-se anédricos a euédricos e inequigranulares (Fig. 2-C). A porção vítrea representa em torno de 70% da rocha e também apresenta finos cristais aciculares de plagioclásio e piroxênio.

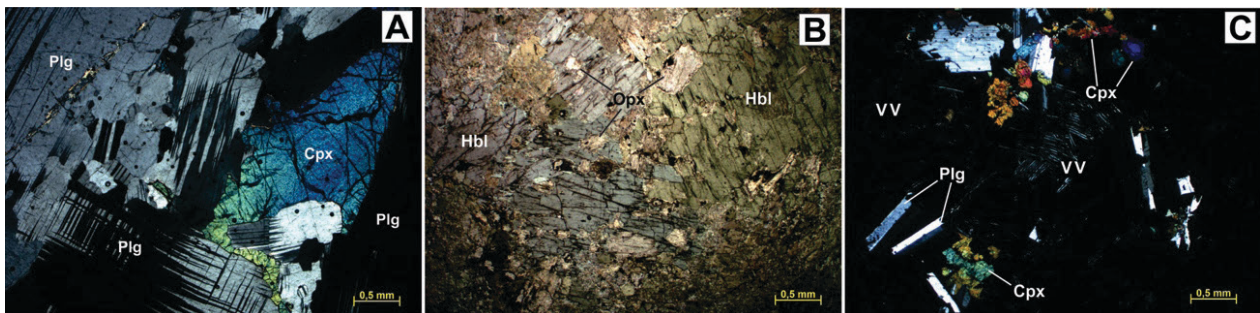


Figura 2. Fotomicrografias das amostras de anortosito (A), hornblendito (B) e basalto porfirítico (C). As abreviações “Plg”, “Cpx”, “Opx”, “Hbl” e “VV” referem-se a plagioclásio, clinopiroxênio, ortopiroxênio, hornblenda e vidro vulcânico, respectivamente.

A geoquímica revelou que são rochas com concentrações significativas dos principais macro e micronutrientes, conforme tabela 01. Dentre as três rochas máficas analisadas, o hornblendito foi a que mostrou maior potencial, devido ao diferencial no conteúdo de K_2O (3,3%), hospedado na biotita. O basalto e anortosito têm boas chances de converterem-se em remineralizadores de solo. Porém, recomenda-se o uso de um *blend* com as rochas graníticas encaixantes, o que aumentaria o teor de potássio.

Tabela 01 – Composição química das três rochas do CGAC.

Rochas	Macronutrientes				Micronutrientes				EPT			
	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Co	Cu	V	Zn	As	Hg	Cd	Pb
 % ppm							
Hornblendito	4,27	1,06	0,14	3,3	44	93,4	4	98	<1	0,15	0,09	2,4
Anortosito	13	2,61	0,014	0,2	71,2	8,9	6	20	<1	0,1	0,03	0,4
Basalto	11	17,6	0,028	0,22	44,7	110,2	29	9	<1	0,12	0,02	0,4

Para além da geoquímica, a petrografia mostrou que a composição mineralógica é bastante favorável ao uso dessas rochas para remineralizar os solos de Angola. Chamou a atenção o fato dessas amostras conterem cristais com muitas microfraturas, o que eventualmente facilitaria tanto a sua cominuição, como a aceleração dos processos biointempéricos. No entanto, é importante advertir que o uso do pó de anortosito exige atenção, uma vez que pode haver neoformação de gibbsita em maiores proporções: plagioclásios mais cálcios dissolvem-se mais rápido e apresentam maior teor de Al_2O_3 (Brantley & Olsen, 2014, entre outros). Assim, recomenda-se a mistura com outras rochas contendo silicatos de potássio, cálcio e/ou magnésio para neoformação, em maior proporção, de argilominerais de estrutura 2:1.

Destaca-se, ainda, que existem outras áreas em Angola onde a presença de rochas de composições mineralógicas diversas (muitas ultrapotássicas) apresentam características adequadas para uso agrícola. Theodoro, et. al. (2013) mencionam as rochas que compõem o rift de Lukapa, que praticamente corta o País no sentido NE-SW. Nessa região, segundo Lopes (2018) e Araújo et. al (1998), ocorrem corpos kimberlíticos, rochas alcalinas, ultrabásicas e carbonatitos, que representam a transição entre o Cretáceo Inferior e o Superior, e que marcaram a ativação tectono-magmática da Plataforma Africana. Há, também, os fosforitos no norte de Angola (províncias de Cabinda e Zaire), do Cretáceo superior ao Quaternário, associados à falha perioceânica que corta transversalmente o Ritf do Lukapa. São compostos por concreções fosfatadas e grãos de fluorapatita, com teores médios que variam de 8,7% a 28% de P_2O_5 .

Muitas dessas rochas são utilizadas para vários fins, incluindo a exploração de diamantes, pedras ornamentais e fabricação de fertilizantes. Coincidentemente, esses locais são também ocupados por agricultores com diferentes perfis socioeconômicos. O uso de subprodutos dessa atividade mineral poderia se converter em inúmeros Arranjos Produtivos Minerero-Agrícolas (Clusters), beneficiando um grande contingente de agricultores e, em última instância, o País.

CONCLUSÕES

Considerando a disponibilidade de materiais geológicos de composições variadas, em especial do Complexo Gabro Anortosítico do Cunene e do Maciço Alcalino Vulcânico, bem como de suas encaixantes, que ocorrem na região sudoeste de Angola, o presente estudo apresentou resultados que confirmam a aptidão dessas rochas para uso como remineralizadores de solo. Ainda que os resultados sejam preliminares, as análises de química total e de petrografia de amostras representativas da área permitem supor que o uso desses materiais geológicos poderá incrementar o perfil de fertilidade dos solos de Angola. As rochas são constituídas por minerais ricos em K, Ca e Mg (feldspatos, piroxênios, biotitas e vidro vulcânicos), especialmente interessantes pela possibilidade de rápida alteração e formação de argilominerais 2:1. Transformar tais materiais em insumos agrícolas fortalecerá a agricultura do País e, em especial,

poderá beneficiar os mais de 50% da população que ainda vive em áreas rurais e que necessitam de apoio e novas opções tecnológicas para melhorar seu perfil produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGOLA - Análise da Conjuntura Económica e Financeira 2019. <https://www.bna.ao/uploads/%7B75f27bb9-6d02-43e2-9ab5-d57d019de798%7D.pdf>.
- BRANTLEY, S. L., OLSEN, A.A. Reaction kinetics of primary rock-forming minerals under ambient conditions. *Treatise on Geochemistry (2nd Edition)*. p 69-133. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00503-9>
- GONÇALVES, A. O. Caracterización mineralógica, geoquímica y petrogénicas de las pegmatitas graníticas de Giraúl, Namibe Angola, Tese de Doutoramento, ISBN: 978-84-694-0534-5 - Universidade de Zaragoza. 2008 <http://zaguan.unizar.es/record/5453/files/TESIS-2010-055.pdf>
- ARAÚJO, A.G., PEREVALOV, O.V., JUKOV. R.A. Carta Geológica de Angola. Escala 1:1000 000. Instituto Nacional de Geologia. Angola. 1988.
- CARVALHO, A. M. X; CARDOSO, I. M. E; THEODORO, S. H. *Rochagem: o que se sabe sobre essa técnica?* In: CARDOSO, I. M. e FÁVERO, C. Solos e Agroecologia. Ed. Embrapa. Brasília. ISBN: 978-85-7035-774-8 p 101 -128. 2018
- CARVALHO, H., ALVES, P. The precambrian of SW Angola and NW Namibia. General remarks. Correlation analysis. Economic geology. Comunicações Instituto Investigação Científica Tropical 4, 38. 1993.
- LEONARDOS, O. H.; FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. *Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos*. Anais 29 Cong. Brasil. Geol, BH, 1976.
- LOPES, W. N. M. Caracterização Física e Petrográfica de Rochas para Fins Ornamentais. Dissertação de Mestrado da Universidade de Lisboa. 2018. https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/33870/1/ulfc124383_tm_WidnC3%A9lia_Lopes.pdf Acesso: em 07 maio 2020.
- MANNING, D A. C.; THEODORO, S. H. Enabling food security through use of local rocks and minerals. The Extractive Industries and society. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002> .
- PEREIRA, E.; TASSINARI, C.C.G.; RODRIGUES, J.F.; VAN-DÚNEM, M.V. New data on the deposition age of the volcano-sedimentary Chela Group and its Eburnean basement: implications to post- Eburnean crustal evolution of the SW of Angola. Comunicações Geológicas, 98, 29-40. 2011.
- RODRIGUES, R. D. Sonangol - o petróleo e a estratégia de desenvolvimento económico em Angola. Dissertação de Mestrado na Universidade Aberta Mestrado Em Gestão/MBA. 2013. https://repositorioaberto.uab.pt/bitstream/10400.2/2823/1/TMG/MBA_RuiRodrigues.pdf.
- THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. *Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution*. Anais Acad. Bras. de Ciências. Rio de Janeiro. Vol.78 nº 4 p: 715-720. 2006.
- THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O. H.; HARPER, J. A Importância de uma Rede Tecnológica de Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. Revista Brasileira de Geografia Física 201206. pp. 1390-1407. <http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/520/363>

AS ALCALINAS CANAMÃ COMO POTENCIAIS REMINERALIZADORES DE SOLO: PETROGRAFIA, DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X E GEOQUÍMICA

HENRIQUE RODRIGUES DOS SANTOS^{1,2} RONALDO PIEROSAN^{1,2}, NAIADE CAROLINE BARBIERI^{2,3}

¹ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, 78.060-900, Cuiabá, Mato Grosso. e-mail: hnrq.rsantos@gmail.com; ronaldo.pierosan@gmail.com

² Grupo de Pesquisa MAGMATO, Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, 78.060-900, Cuiabá, Mato Grosso.

³ Curso de Graduação em Geologia, Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Av. Fernando Corrêa da Costa, 2367, 78.060-900, Cuiabá, Mato Grosso. e-mail: naiadebarbieri@gmail.com

Resumo:

O Brasil é um dos maiores produtores agrícolas do mundo e seus solos apresentam baixa concentração em potássio, o que acarreta uma alta demanda por fertilizantes químicos importados. Desse modo, a rochagem apresenta-se como uma das técnicas de fertilização que visam diminuir essa dependência por fertilizantes externos. As rochas pertencentes à unidade litoestratigráfica Alcalinas Canamã (ULAC) podem representar uma fonte alternativa de remineralizadores, principalmente em Mato Grosso. As rochas estudadas consistem em gabros e sienitos com pequenas variações composicionais em termos mineralógicos e químicos. Amostras de ambos os grupos apresentam teores de quartzo modal (i.e. sílica livre) inferiores ao estipulado pela IN 05/2016 do MAPA. Os difratogramas permitiram identificar os grupos composicionais dos principais minerais, como andesina, actinolita e magnésio hornblenda, nos gabros e albita, ortoclásio, ferro hornblenda e flogopita, nos sienitos. Os dados geoquímicos mostram que amostras compostas (combinadas na proporção de 1:1 entre gabro:sienito) apresentaram soma de bases e teores de K_2O suficientes para contemplar as garantias exigidas pela normativa. Todas as amostras possuem teores de elementos potencialmente tóxicos inferiores aos limites estabelecidos pela instrução normativa. Ensaios de lixiviação, incubação e de desempenho agrônômico serão fundamentais para avaliar a eficácia dessas rochas como remineralizadores de solo.

Palavras-chave: rochagem; agrogeologia; gabros; sienitos

INTRODUÇÃO

Os solos são constituintes essenciais para o crescimento natural e desenvolvimento de qualquer cultura e, de modo geral, os solos brasileiros apresentam carência em um dos macronutrientes mais importantes para as plantas, o potássio. Essa deficiência em potássio está ligada a diversos fatores, como a baixa capacidade de troca catiônica (CTC) e por esses solos serem facilmente lixiviados, principalmente em áreas tropicais (KINPARA, 2003). Sendo assim, para garantir a produção de vários tipos de culturas, faz-se necessário a utilização de fertilizantes minerais, que são por definição materiais naturais ou manufaturados, compostos por nutrientes essenciais para o crescimento das plantas (ISHERWOOD, 2000). Os nutrientes, por sua vez, são compostos que podem ser divididos quanto ao seu grau de importância para o desenvolvimento das plantas, sendo separados em dois principais conjuntos: macronutrientes e micronutrientes. O primeiro engloba tanto os macronutrientes principais (N-P-K) quanto os secundários, como Ca, Mg e S, enquanto que o segundo abrange elementos como Fe, Mn, Zn, Cu, Co, Mo, Cl e B (LAPIDO-LOUREIRO, MELAMED & FIGUEIREDO NETO, 2009).

O Brasil possui uma economia pautada, basicamente, nos setores do agronegócio e da mineração. De acordo com os dados obtidos pelo Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA, 2018), o agronegócio foi responsável por cerca de 21,4% do PIB brasileiro de 2019 (Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada, 2019), englobando os setores da agricultura, agropecuária, indústria e distribuição. Há uma crescente expansão dos setores relacionados ao agronegócio brasileiro, onde o País se consolida como um dos maiores produtores de alimentos no mundo. Essa alta demanda se interliga diretamente com a utilização de fertilizantes, e os dados da Associação Nacional para Difusão de Adubos (ANDA, 2020) revelam que, em 2018, a agricultura nacional foi responsável por 7% do consumo mundial de fertilizantes, dos quais cerca de 81,43% dos fertilizantes utilizados no país são advindos de importações.

Com o intuito de diminuir a dependência por fertilizantes químicos externos, novas técnicas de fertilização tem sido estudadas, como a rochagem, por exemplo. Esta técnica é baseada na adição do pó de determinados tipos de rochas, com o objetivo de rejuvenescer solos empobrecidos ou lixiviados, aumentando, assim, a fertilidade dos mesmos. Os produtos passíveis de uso, segundo os pressupostos dessa técnica, são os pós de rocha, farinha de rocha e remineralizadores de solos. (LEONARDOS et al., 1976; LAPIDO-LOUREIRO & NASCIMENTO, 2009).

As rochas da unidade litoestratigráfica Alcalinas Canamã afloram entre o extremo noroeste de Mato Grosso e a região sul do Amazonas e englobam diversos maciços intrusivos Mesoproterozoicos de caráter alcalino, com composição predominantemente sienítica (SANTOS, 2000). O presente estudo abordou algumas rochas aflorantes no corpo semicircular principal da unidade na região NW, do município de Juruena, Mato Grosso (ALBUQUERQUE & OLIVEIRA,

2007; SANTOS, 2019). Com o objetivo de suprir a grande deficiência em macro e micronutrientes, na agricultura brasileira, esse conjunto de rochas alcalinas pode converter-se como uma fonte alternativa de remineralizadores, principalmente em Mato Grosso. Recentemente (2016), o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) definiu regras quanto a classificação e exigências mínimas para registro dos remineralizadores de solos destinados à agricultura, sendo, portanto, o potencial das rochas que compõem a Unidade Litoestratigráfica Alcalinas Canamã (ULAC) um dos escopos centrais deste trabalho, onde além da diminuição da importação de fertilizantes solúveis, e a utilização desses materiais geológicos como remineralizadores de solos podem levar a um desenvolvimento mais sustentável da agricultura nacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os métodos de trabalhos estiveram concentrados nas etapas de campo, para reconhecimento dos litotipos e amostragem; e de laboratório, para aquisição dos dados analíticos. As seções delgadas das amostras foram confeccionadas no Laboratório de Laminação da Faculdade de Geociências (FAGEO), da Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT). As amostras foram pulverizadas no Laboratório de Preparação Mineral da FAGEO. Os dados de Difração de Raios-X foram adquiridos, para amostras representativas das rochas, no Laboratório Multiusuários de Técnicas Analíticas da FAGEO, utilizando um difratômetro Shimadzu, modelo XRD-6000, com condições analíticas de 40 kv de tensão, corrente de 30 mA, intervalo de medida de 0,02°, com tempo de leitura de 1,2 segundos por intervalo. Os dados de geoquímica de rocha-total foram adquiridos em laboratório comercial, segundo as técnicas de ICP-AES, para elementos maiores e menores, e de ICP-MS, para elementos traços. Foram analisadas 5 amostras representativas dos diferentes litotipos estudados e 2 amostras compostas, na proporção 1:1.

RESULTADOS

Petrografia

Os litotipos estudados consistem em gabros e sienitos (Figura 1). Os gabros são de cor cinza esverdeada e possuem textura fanerítica inequigranular, de média à fina. São compostos por hornblenda (62-68%) subédrica, com pleocroísmo variando em tons de verde e dimensões de 0,3 a 2,5mm; plagioclásio (~28%) subédrico de 0,3 a 2,0 mm; tremolita (3-4%) anédrica, com pleocroísmo variando de incolor a verde claro e tamanhos em torno de 0,5 mm, quartzo (sílica livre) (1-3%) anédrico de 0,2 a 0,7 mm e minerais em quantidades acessórias, como diopsídio (2%), epidoto (1%), titanita e clorita (<1%). Os cristais de hornblenda estão parcialmente substituídos por clorita e o epidoto ocorre, preferencialmente, associado ao plagioclásio e, localmente, formando pequenas vênulas.

Os sienitos são de cor laranja roseada, com textura fanerítica inequigranular média à grossa. São constituídos por feldspato alcalino (76-86%) subédrico, entre 0,5 e 5,0 mm, com texturas pertítica; hornblenda (7-10%) subédrica, com pleocroísmo variando em tons de verde e dimensões de 0,2 a 2,5mm; quartzo (sílica livre) (4-13%) anédrico intergranular de 0,3 a 2,0 mm; espinélio (1%) anédrico de ~0,9 mm e quantidades subordinadas (<1%) de biotita e zircão. A biotita está localmente distribuída na forma de agregados e possui pleocroísmo variando de marrom escuro à laranja. Ocorre textura poiquilítica caracterizada por inclusões de hornblenda em feldspato alcalino.

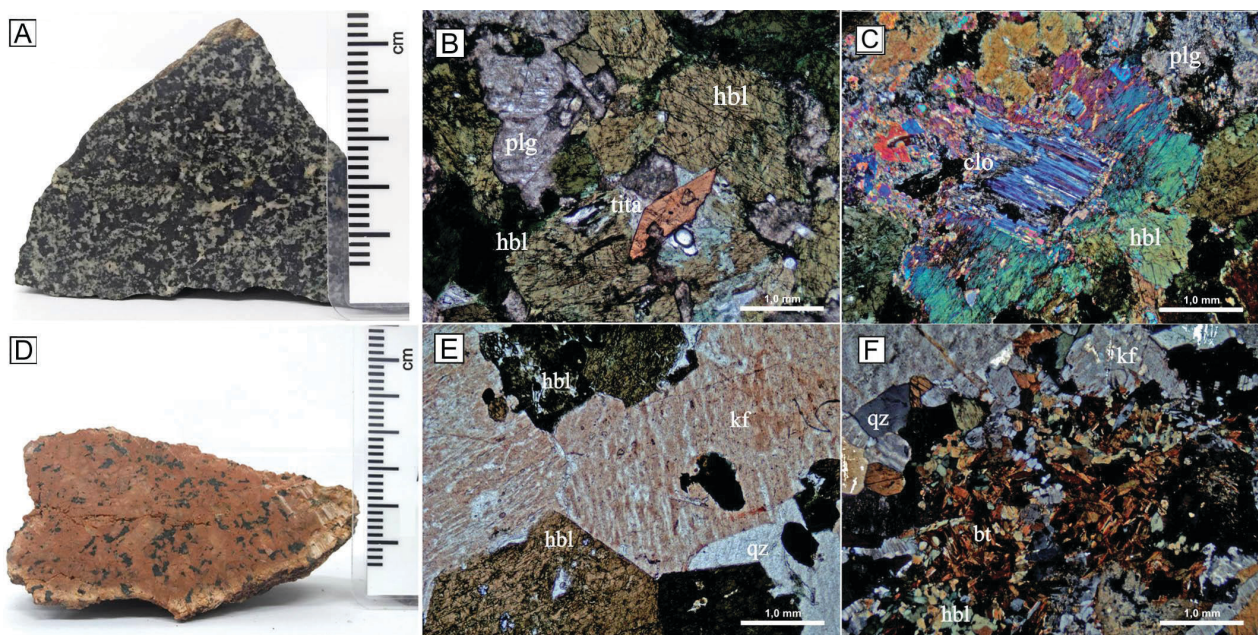


Figura 1. Aspectos petrográficos de gabros e sienitos. (A) textura fanerítica dos gabros. (B) mineralogia essencial dos gabros. (C) clorita substituindo hornblenda em gabro. (D) textura fanerítica dos sienitos. (E) mineralogia essencial dos sienitos. (F) agregado de biotita em sienito. Abreviações: plg – plagioclásio; hbl – hornblenda; tit – titanita; clo – clorita; kf – feldspato potássico; qz – quartzo; bt – biotita. Fonte: este trabalho.

Difratometria de Raios-X

Os dados de difratometria de raios-X permitiram identificar e relacionar as fases minerais com alguns grupos químicos de minerais presentes em gabros e sienitos. Nos gabros, o plagioclásio é do tipo andesina e os anfibólios são do tipo actinolita, termo intermediário da série tremolita/ferro-actinolita, o extremo de magnésio-hornblenda da série magnésio-hornblenda/ferro-hornblenda. A mineralogia identificada nos sienitos mostra feldspatos dos dois polos da série dos feldspatos alcalinos: albita e feldspato potássico. Os anfibólios são do extremo da ferro-hornblenda, da série com a magnésio-hornblenda, e ferro-actinolita, da série com a tremolita. A mica está relacionada com o extremo da flogopita, da série flogopita/anita (Figura 2).

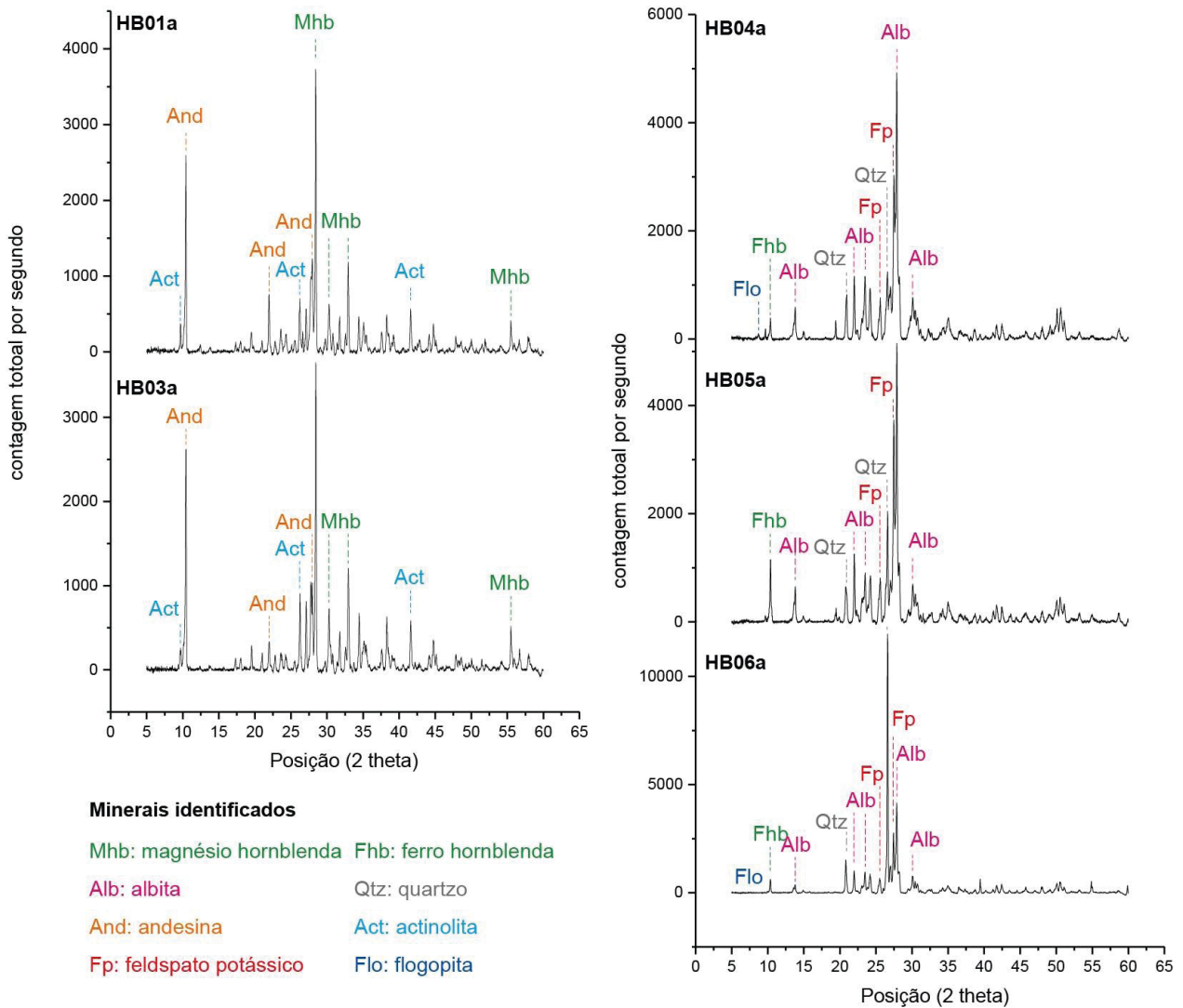


Figura 2. Difratogramas de gabros (HB01a e HB03a) e sienitos (HB04a, HB05a e HB06a), das Alcalinas Canamã.

Geoquímica de rocha-total

Os dados de geoquímica de rocha-total evidenciam os contrastes composicionais entre gabros e sienitos. Os gabros possuem conteúdos de SiO_2 de 48,5 e 49,0%, enquanto os sienitos apresentam teores entre 64,7 e 69,4%. As amostras compostas mostram valores intermediários de 56,4 e 58,6%. A soma de bases nos gabros é de 20,19 e 22,18% e os conteúdos de P_2O_5 e K_2O são baixos. Para os sienitos, a soma de bases varia de 6,46 a 7,14%, com elevados conteúdos de K_2O e baixos de P_2O_5 . As amostras compostas apresentam soma de bases de 13,52 e 14,39%, com teores moderados de K_2O e baixos de P_2O_5 . Micronutrientes como Co, Cu, Ni e V ocorrem em quantidades apreciáveis nos gabros, e em baixas taxas nos sienitos. Nos sienitos, o Mo e o Zn são mais elevados. Por outro

lado, as amostras compostas apresentam teores moderados para todos os micronutrientes. Os teores de Se são baixos em ambos os litotipos. Os elementos potencialmente tóxicos possuem teores inferiores a 0,9 ppm de As, < 0,06 ppm de Cd, <13,9 ppm de Pb e de 0,01 ppm de Hg (Tabela 1).

Tabela 1 – Composição química de gabros, sienitos e amostras compostas das Alcalinas Canamã.

Amostras*	Macronutrientes				Micronutrientes				EPT			
	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Co	Cu	V	Zn	As	Hg	Cd	Pb
 % ppm							
HB01a	12,10	7,35	0,13	0,74	12	88,1	45	15	0,2	0,01	0,05	4,2
HB03a	12,65	8,96	0,13	0,57	8,3	31	37	12	0,3	<0,01	0,06	3
HB04a	0,88	0,48	0,16	5,78	0,3	1,7	2	31	0,5	0,01	0,03	5,6
HB05a	0,91	0,40	0,14	5,79	0,2	1,6	1	45	0,9	0,01	0,05	13,9
HB06a	0,71	0,27	0,09	5,48	0,2	1,1	1	35	0,6	0,01	0,06	8
HB01-04	6,38	3,87	0,14	3,27	6,2	41,6	25	22	0,3	<0,01	0,04	4,9
HB03-06	6,78	4,66	0,10	2,95	4,6	16,6	23	24	0,4	0,01	0,06	5,5

* - gabros: HB01a, HB03a; sienitos: HB04a, HB05a, HB06a; amostras compostas: HB01-04, HB03-06.

CONCLUSÕES

O conjunto de dados e informações obtidas na pesquisa permitem assumir que tanto os gabros como os sienitos possuem composição mineralógica adequada para sua utilização como remineralizador de solo, conforme Instrução Normativa 05/2016 do MAPA, especialmente no que se refere aos seus conteúdos de quartzo (sílica livre), inferiores a 13% nos sienitos e a 3% nos gabros. Também no que se refere a esta Instrução Normativa, os conteúdos de macro e micronutrientes de gabros e sienitos são insuficientes, em parte, para seu enquadramento. Gabros possuem soma de bases adequada, porém, conteúdos de K₂O < 0,74%. Por outro lado, os sienitos possuem teores apreciáveis de K₂O (entre 5,48 e 5,79%), porém, soma de bases inferior a 7,14%. No entanto, as amostras compostas, na proporção 1:1 para gabro/sienito, atendem os critérios de soma de bases (13,52 e 14,39%) e de teores de K₂O (2,95 e 3,27%). Com base nestas observações e visando maximizar o aproveitamento de K₂O, no remineralizador de solo, e o enquadramento na IN, é possível sugerir a formação de um *blend* (mix) dessas rochas, na proporção 1:4 (gabro:sienito). Dessa forma, o produto atenderia as exigências para remineralizadores de solo, com conteúdos de K₂O em torno de 4,6%. Além dos macronutrientes, as amostras estudadas possuem conteúdos apreciáveis de micronutrientes como: Co, Cu, Mo, Ni e Zn. Os baixos conteúdos de elementos potencialmente tóxicos, tanto em gabros como em sienitos, evidenciam o caráter sustentável das rochas da unidade litoestratigráfica Alcalinas Canamã para a uso como remineralizadores de solo.

Em trabalhos futuros, serão fundamentais os ensaios de solubilização, objetivando simular o comportamento dos remineralizadores de solo em água da chuva e de lixiviação, visando simular o comportamento dessas rochas, após serem cominuidas. Nas próximas fases, serão averiguados os comportamentos dessas misturas, em diferentes dosagens. Posteriormente, ensaios agronômicos de incubação e de desempenho poderão vir a comprovar a eficácia agronômica dos remineralizadores de solos, relacionados à unidade Alcalinas Canamã.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, M. C., & OLIVEIRA, C.C. 2007. Geologia e Recursos Minerais da Folha Aripuanã SC.21-Y-A. Goiania, Secretária de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, CPRM-Serviços Geológicos do Brasil.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS (ANDA). Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2018. São Paulo, 2019.
- CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA. PIB do agronegócio brasileiro: 1996 a 2018. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 20 dez. 2019.
- ISHERWOOD, K.F. O uso de fertilizantes minerais e o meio ambiente. Internacional Fertilizer Industry Association, United Nations Environmental Programme. Trad. Associação Nacional para Difusão de Adubos. Paris, 2000. 63p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. & FIGUEIREDO NETO, J., Editores, 2009. Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade, CETEM / PETROBRAS, 656p.
- LAPIDO-LOUREIRO, F.E.V.; NASCIMENTO, M. Importância e função dos fertilizantes numa agricultura sustentável e competitiva. In: LAPIDO-LOUREIRO, F.E., MELAMED, R. & FIGUEIREDO NETO, J., Editores, 2009. Fertilizantes: Agroindústria e Sustentabilidade, CETEM / PETROBRAS, 656p.
- LEONARDOS, O. H., FYFE, W. S.; KRONBERG, B. I. Rochagem: O método de aumento da fertilidade em solos lixiviados e arenosos. Anais 29 Congr. Brasil. Geol., Belo Horizonte, p. 137-145. 1976.
- SANTOS, D.V.R. Alcalina Canamã: Magmatismo Intracontinental Ectasiano na Província Rio Negro Juruena-SW do Cráton Amazônico. 2019. 59 p. Dissertação de Mestrado em Geologia, Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2019.
- KINPARA, D. L. A. A importância estratégica do potássio para o Brasil. 1.ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2003. p. 27. (Série Documentos Embrapa Cerrados).

PÓ DE BASALTO COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS

ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI¹; MERIANE MELISSA TAQUES¹; ALVES ALEXANDRE ALOVISI¹; LUCIENE KAZUE TOKURA²; ELISANGELA DUPAS¹; JOÃO AUGUSTO MACHADO DA SILVA¹; CLEIDIMAR JOÃO CASSOL¹; ADAMA GNING¹

¹ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) Endereço(s) Rodovia Dourados-Itahum, km 12 - Caixa Postal 533, CEP:79 804 970 Dourados, MS). E-mail: alessandraalovisi@ufgd.edu.br; meriane.taques@gmail.com; elisangeladupas@ufgd.edu.br; joaomachado@ufgd.edu.br; cleidimar_cassol@hotmail.com; gningadama83@gmail.com

² Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNOESTE) Endereço(s) Rua Universitária, 1619 – Universitário, CEP:85 819-170 Cascavel, PR. E-mail: lucienetokura@gmail.com

Resumo:

Diante da importância de encontrar fontes alternativas de fertilizantes para a agricultura, objetivou-se, com esse trabalho, avaliar a adição de pó de basalto, associado ou não ao bioativo, sobre a disponibilidade de nutrientes no solo, durante três períodos de incubação. O teste foi desenvolvido em delineamento experimental, inteiramente casualizado, distribuído em esquema fatorial (5x2x3). Foram avaliadas cinco doses de pó de basalto (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), associados ou não a bioativo (0 e 0,1 g saco⁻¹), e três tempos de incubação do solo, com o pó de basalto (30, 90 e 120 dias), com quatro repetições. O experimento foi realizado em casa-de-vegetação. Após os períodos de incubação, determinaram-se os valores de K, Ca, Mg, pH, H+Al e P dos solos incubados. O uso de pó de basalto no solo resultou em um aumento significativo nos teores de cátions fundamentais ao desenvolvimento da planta, principalmente P e K, aos 30 dias após a aplicação, e Ca e Mg, SB e V%, aos 90 dias da aplicação. O pó de basalto pode ser considerado uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo de baixo custo, entretanto, a pequena liberação dos nutrientes do pó de basalto indica que tal material não pode ser utilizado como a principal fonte de nutrientes para as plantas.

Palavras-chave: Rocha basáltica; fertilidade do solo; incubação

INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta uma área estimada de 60 milhões de hectares sob cultivo agrícola (Conab, 2019), porém, nessas áreas prevalecem solos de reação ácida e com baixa fertilidade. O estado do Mato Grosso do Sul possui metade de sua área composta por Latossolos e Neossolos, com a presença de solos de baixa fertilidade (Mato Grosso do Sul, 1990). Sendo o solo um recurso de extrema importância

para a sobrevivência humana, torna-se necessário buscar alternativas que possam proporcionar o melhor aproveitamento desse recurso, em especial na produção de alimentos. Para que esses solos sejam empregados na produção agropecuária, a prática da fertilização é fundamental para obter boas produtividades. Uma alternativa para a complementação da fertilização é o uso de pó de rocha, que é um fertilizante natural, com solubilidade mais lenta, contendo macro e micronutrientes.

O pó de rocha promove a remineralização do solo, o que se deve ao seu amplo conteúdo mineral e à sua composição química, potencialmente apropriada para o enriquecimento de solo de baixa fertilidade, ou para a recuperação de solos empobrecidos por lixiviação. Segundo Osterroht (2003), a dissolução dos pós de rochas é um processo lento e complexo, e que depende muito da composição química e mineralógica da rocha, granulometria do material, tempo de reação, assim como do pH e da presença de microrganismos no solo, atuando em sua degradação. Para esse tipo de fertilização é essencial combinar a mineralogia e geoquímica da rocha selecionada com as exigências do solo e das plantas (Souza, 2014). Em função de variações na composição das rochas pode haver disponibilidade de vários nutrientes a curto, médio e longo prazo (Duarte, 2013).

A eficácia da utilização do pó de rocha como fonte de nutrientes é questionada por Bolland e Baker (2000), em razão da baixa solubilidade desse material. Apesar da liberação dos nutrientes do pó de rocha para a solução do solo, na forma adequada para serem absorvidos pelas plantas, ser lenta (Theodoro e Leonardos, 2006), há uma tendência de maximizar a liberação dos elementos químicos, mediante a utilização de microrganismos capazes de promover a solubilização das rochas, acelerando o processo de liberação dos nutrientes para o solo (Lopes-Assad et al., 2006; Lima et al., 2007).

Theodoro e Leonardos (2006) demonstram que o uso de pó de rocha na agricultura tem vantagens econômicas, ambientais e produtivas significativas em culturas de milho, arroz, mandioca e cana-de-açúcar, em comparação à adubação convencional.

Em estudo com mármore moído, Novelino et al. (2008) observaram incrementos no pH, Ca, Mg e na V%. Resultados semelhantes foram obtidos por Theodoro e Leonardos (2006); Dias et al. (2007) e Pinheiro et al. (2008), com a utilização de pó de rocha em amostras de solos.

A utilização do pó de basalto como fonte de nutrientes para o feijoeiro, em Cambissolo Húmico, foi avaliada por Nichele (2006), que verificou que em todos os feijoeiros que receberam os tratamentos com o material, a produtividade foi similar a dos tratamentos com calcário e calcário com adubo convencional. Groth et al. (2017), ao estudarem o efeito da aplicação de pó de basalto no desenvolvimento de plantas de alface e na dinâmica populacional de insetos fitófagos, verificaram que o pó de basalto supre as necessidades minerais dos solos e, também, favorece a diminuição populacional desses insetos na cultura de alface.

Diante da importância de encontrar fontes alternativas de fertilizantes para a agricultura, objetivou-se, com esse trabalho, avaliar a adição crescente de pó de basalto, associado ou não ao bioativo, sobre os atributos químicos do solo, durante três períodos de incubação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa-de-vegetação, na Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, município de Dourados, latitude 22°14'S, longitude de 54°49'W e altitude de 458 metros. O clima é do tipo Am, monçônico, com inverno seco, precipitação média anual de 1500 mm, e temperatura média de 22°C (Alvares et al., 2013). O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Distroférico argiloso. O solo foi coletado na profundidade de 0,0-0,2 m, sendo seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2 mm.

O pó de basalto apresentava as seguintes características: SiO₂ (49,35%), Al₂O₃ (12,17%), FeO₂ (15,45%), CaO (7,74%), MgO (3,67%), K₂O (1,60%), N₂O (2,62%), TiO₂ (3,67%), MnO (0,23%) e P₂O₅ (0,61%). O bioativo utilizado era constituído de: SiO₂ (56%), Al₂O₃ (16%), Fe₂O₃ (4,0%), CaO (4,0%), MgO (4,0%), K₂O (2,0%), Na₂O (0,4%) e micronutrientes (3,5%).

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, distribuído em esquema fatorial (5x2x3), tendo como unidades experimentais 0,2 kg de solo seco ao ar, mantido em sacos de polietileno, sem drenos. Os solos foram incubados com o pó de basalto com granulometria <0,05 mm, nas seguintes doses (0, 2, 4, 8 e 16 Mg ha⁻¹), associados ou não a bioativo (0 e 0,1 g saco⁻¹), em três tempos de incubação do solo com o pó de basalto (30, 90, 120 dias), com quatro repetições. Durante o período de incubação, manteve-se a umidade do solo com o teor de água suficiente para ocupar 60% do volume total de poros de cada solo, de acordo com metodologia de Freire et al. (1998).

Após cada período de incubação, os solos foram secos ao ar para posterior análise química, onde foram determinados: pH em água, pH CaCl₂, Ca⁺², Mg⁺², Al⁺³, P extraído por Melich-1 e K⁺, segundo metodologia descrita em Claessen (1997). Os valores de CTC, soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) foram obtidos por cálculo.

Os dados obtidos de cada variável foram submetidos às análises de variância. Para as doses de pó de rocha empregou-se análise de regressão, quando constatada significância das doses. Os efeitos obtidos com os fatores qualitativos foram comparados através do teste de t de Student, no nível de 5%. Para a análise estatística utilizou-se o pacote computacional ASSISTAT (Silva e Azevedo, 2016).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação entre doses de pó de basalto e período de incubação foi significativa para pH em água, P, K, Ca, Mg, SB e V% (Figuras 1 A, B, C, D, E, F e G), enquanto as interações entre doses e bioativo, e entre período de incubação e bioativo não foram significativas para nenhum dos atributos avaliados. Houve interação tripla entre os tratamentos apenas para pH em CaCl₂ (Tabela 1). Com o desdobramento da interação tripla entre doses de pó de basalto, dentro de tempo de

incubação, e bioativo, observou-se que os maiores valores de pH em CaCl_2 foram encontrados nos solos que ficaram incubados com o pó de basalto, a partir de 90 dias.

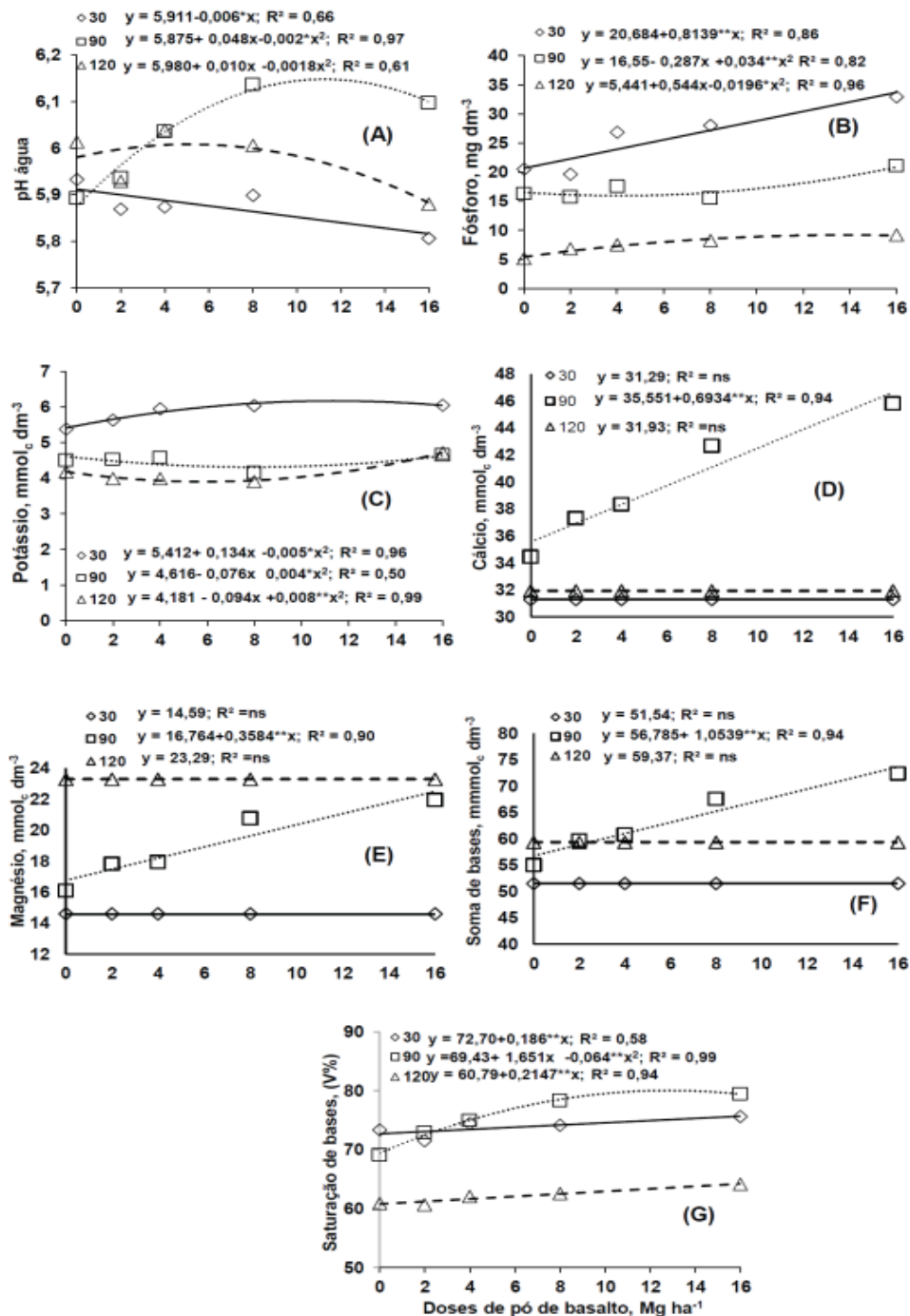


Figura 1. Atributos químicos do solo: pH em água (A), teor de fósforo (B), teor de potássio (C), teor de cálcio (D), teor de magnésio (E), soma de bases (F) e saturação por bases (G), em função de doses de pó de basalto e tempo de incubação dos solos.

Tabela 1. Desdobramento da interação significativa doses de pó de basalto, dentro de tempo de incubação e bioativo, em relação ao pH em CaCl₂. Dourados-MS, UFGD.

Pó de basalto (Mg ha ⁻¹)	Período de incubação (dias) x bioativo (com e sem)					
	30 dias com bioativo	30 dias sem bioativo	90 dias com bioativo	90 dias sem bioativo	120 dias com bioativo	120 dias sem bioativo
0	5,05 b	5,11 b	5,49 a	5,42 a	5,27 ab	5,42 a
2	5,11 c	5,07 c	5,37 ab	5,46 a	5,31 abc	5,19 bc
4	5,12 b	5,12 b	5,51 a	5,36 ab	5,21b	5,54 a
8	5,14 b	5,16 b	5,53 a	5,43 a	5,37 ab	5,31 ab
16	5,17 b	5,17 b	5,49 a	5,51 a	5,20 b	5,19 b

Médias seguidas da mesma letra minúsculas na linha, não diferem entre si, pelo teste t de Student (p<0,05).

Os valores de pH em água do solo diminuíram de forma linear, após 30 dias de incubação do solo (Figura 1A), o que indica um processo de acidificação do solo, durante esse período de incubação, gerado possivelmente pela hidrólise, resultante da adição de água ao solo, e pela decomposição da matéria orgânica. Segundo Melo et al. (2012), na fase inicial da reação do pó de rocha com a solução do solo, há liberação de Al³⁺ a partir do intemperismo dos silicatos.

Os maiores acréscimos de pH, proporcionados pela adição do pó de basalto ao solo, foram observados aos 90 dias de incubação (Figura 1A). O ponto de máxima neutralização da acidez deu-se com 12 Mg ha⁻¹, com pH de 6,4. Aos 120 dias de incubação, o ponto de máximo pH foi obtido com a dose de 8,48 Mg ha⁻¹ de pó de basalto, com pH de 5,9.

O teor de fósforo no solo aumentou de forma linear com o acréscimo das doses aplicadas de pó de basalto aos 30 dias de incubação. A partir do período de 30 dias de incubação, observa-se uma redução nos teores. As condições típicas dos Latossolos, com predomínio de óxidos de Fe e Al na fração argila, favorecem a intensa imobilização do P. Aos 90 dias de incubação, observa-se ponto de mínima de 15,94 mg dm⁻³ de P, com a dose de 4,22 Mg ha⁻¹, e teor máximo de 9,33 mg dm⁻³ de P, com a dose de 14,32 Mg ha⁻¹ do pó de basalto, aos 120 dias de incubação do solo.

Esse aumento dos teores de fósforo, no entanto, deve ser interpretado com cautela. Segundo Motta et al. (1993), grandes acréscimos são dependentes do método de extração utilizado, onde os elementos de composição ácida extraem quantidades superiores ao das resinas trocadoras de íons. Assim, esse efeito possivelmente ocorreu pela dissolução do fósforo ocluso, que estava adsorvido por ligações químicas fortes, e pelo uso de ácidos fortes foi solubilizada, não representando o P disponível para as plantas. A superestimativa desse elemento também foi constatado por Escosteguy e Klamt (1998), em solos que receberam pó de basalto.

Semelhante aos de P, os teores de K foram maiores no solo incubado até 30 dias (Figura 1C), com teor máximo de 6,31 mmol_c dm⁻³, na dose de 13,4 Mg ha⁻¹ de pó de basalto, e com teores mínimos

de 4,26 e 3,91 mmol_cdm⁻³, nas doses de 9,5 e 5,87 Mg ha⁻¹ de pó de basalto, aos 90 e 120 dias de incubação, respectivamente.

Os teores de Ca e Mg, no solo, aumentaram linearmente com as doses aplicadas de pó de basalto somente no período de 90 dias de incubação (Figuras 1D e 1E). A utilização de 16 M ha⁻¹ de pó de basalto proporcionou incremento, de 11,09 e 5,73 mmol_c dm⁻³, nos teores de Ca e Mg, respectivamente.

Apesar dos acréscimos e decréscimos nos valores de pH, K, P, Ca e Mg, com o tempo de incubação do solo, as doses de pó de basalto testadas não modificaram a interpretação desses nutrientes no solo, mantendo-se nos teores adequados para as culturas anuais (Sousa e Lobato, 2004).

Os incrementos nos teores de K, Ca e Mg foram relativamente baixos (Figuras 1C, 1D e 1E), indicando que esses elementos devem estar presentes em minerais de baixa solubilidade e de lenta alteração. No entanto, estes valores tornam-se de grande importância em solos com baixos teores desses elementos. A baixa liberação desses cátions também foi constatada, por Melo et al. (2012), em solos fertilizados com doses de até 100 Mg ha⁻¹. Segundo Von Wilbert e Lukes (2003), essa lenta liberação não impede um impacto significativo sobre a nutrição das culturas em longo prazo, especialmente sobre as de ciclo longo.

Os valores de soma de bases aumentaram de forma linear, com o acréscimo das doses de pó de basalto, somente no período de 90 dias de incubação (Figura 1F). Esse efeito está de acordo com as variações observadas para os teores de Ca e Mg. A redução do valor de SB, observada no período de 120 dias de incubação, e o aumento da acidez nesse período (Figura 1A) foram suficientes para influenciar os valores da saturação por bases (Figura 1G). Ainda que os valores de saturação por bases tenham diminuído no período de 120 dias de incubação do solo, os teores são considerados adequados para as culturas anuais (Sousa e Lobato, 2004). Isso se deve aos altos valores de V% (>60%) previamente existentes nesse solo, conforme indicam os valores obtidos nos tratamentos sem adição do pó de basalto (Figura 1G).

A diminuição dos teores dos íons solúveis, com o tempo de incubação, num sistema fechado, pode ser atribuída a processos de sorção, tanto por parte de ácidos orgânicos presentes na matéria orgânica, quanto por parte de novas fases minerais, produzidas em função de processos de alteração de minerais contidos no pó de rocha (Lopes, 2013).

Do ponto de vista da geoquímica de fertilidade do solo, o pó de basalto pode disponibilizar de forma rápida os macronutrientes necessários para as plantas, isto é evidenciado pelos aumentos nos teores de P e K, no período de 30 dias, e de Ca, Mg, SB e V%, aos 90 dias. Resultados semelhantes foram obtidos por Sousa (2014) e Toscani e Campos (2017).

Vale lembrar que o basalto apresenta óxidos de silício em sua composição (49,35%). Assim, o uso do pó de basalto pode disponibilizar o ânion silicato que concorre pelo mesmo sítio de adsorção do ânion fosfato, aumentando a disponibilidade do P para as plantas (Sandim et al., 2014).

O pó de basalto deve ser utilizado como complemento à adubação convencional, pelo menos nos primeiros anos de cultivo, dadas as quantidades de nutrientes fornecidas

CONCLUSÕES

A dose de 12 Mg ha⁻¹ de pó de basalto proporcionou a máxima redução da acidez ativa, elevando o pH em água de 5,9 para 6,4, aos 90 dias da reação do pó de basalto no solo.

O uso de pó de basalto no solo resulta em aumento significativo nos teores de cátions fundamentais ao desenvolvimento da planta, principalmente P e K, aos 30 dias após a aplicação, e Ca e Mg, SB e V%, aos 90 dias da aplicação.

O pó de basalto pode ser considerado uma fonte alternativa viável de fertilizante e corretivo do solo, dependendo da composição da rocha, granulometria do material e condições do solo.

A pequena liberação dos nutrientes do pó de basalto indica que tal material não pode ser utilizado como a principal fonte de nutrientes às plantas.

A técnica da rochagem apresenta vantagem econômica na dependência brasileira de importação de fontes externas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, p.711-728, 2013
- BOLLAND, M.D.A.; BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, p.59-68, 2000.
- CLAESSEN, M.E.C. (Org.). *Manual de métodos de análise de solo*. (2 ed.). Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPq, 1997.
- CONAB. *Indicadores de Agropecuária*. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento, 2019. 92p.
- DIAS, F.O.; MELO, V.F.; UCHÔA, S.C.P.; CARVALHO, K.S.; SILVA, S.M. Pó de basalto apoteri nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo Distrófico. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Anais. Porto Alegre, 2007.
- DUARTE, W.M.; MAFRA, A.L.; FORESTI, M.M.; PICCOLLA, C.D.; ALMEIDA, J.A. Potencial de olivina melilitito, granito e sienito na disponibilização de potássio em solos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 12, p. 68-77, 2013.
- ESCOSTEGUY, P.A.; KLAMT, E. Basalto moído como fonte de nutrientes. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 22, p.11-20, 1998.
- FREIRE, J.C.; RIBEIRO, V.A.; BAHIA, V.G.; LOPES, A.S.; AQUINO, L.H. Resposta do milho cultivado em casa de vegetação a níveis de água em solos da região de Lavras-MG. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.4, p. 5-8, 1998.

- GROTH, M. Z.; BELLÉ, C.; BERNARDI, D.; BORGES FILHO, R. C. Pó-de-basalto no desenvolvimento de plantas de alface e na dinâmica populacional de insetos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 16, n. 4, p. 433-440, 2017.
- LIMA, R.C.M.; STAMFORD, N.P.; SANTOS, E.R.S.; DIAS, S.H.L. Rendimento da alface e atributos químicos de um Latossolo em função da aplicação de biofertilizantes de rochas com fósforo e potássio. *Horticultura Brasileira*, v. 25, p. 224-229, 2007.
- LOPES-ASSAD, M.L.L.; ROSA, M.M.; ERLER, G.; ANTONINI, S.R.C. Solução de pó-de-rocha por *Aspergillus Niger*. *Espaço e Geografia*, v.9, p. 1-17, 2006.
- LOPES, O.M.M. Efeito de argilomineral e vinhaça em atributos químicos de dois tipos de solos. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Ambiente). São Carlos: UFSCar, 2013.
- MATO GROSSO DO SUL. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral. Atlas multirreferencial. Campo Grande: Convenio Governo do Estado/ Fundação IBGE, 1990. 29p.
- MELO, V.F.; UCHOA, C.P.; DIAS, F.O.; BARBOSA, G.F. Doses de basalto moído nas propriedades químicas de um Latossolo Amarelo distrófico da savana de Roraima. *Acta Amazônica*, v. 42, p.471-476, 2012.
- MOTTA, A.C.V.; KUDLA, A.P.; FEIDEN, A. Efeito da aplicação do pó de basalto sobre algumas características químicas dos solos e crescimento de planta em um LE e LR. *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, v. 12, p.173-178, 1993.
- NICHELE, E.R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinadas. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Lages: UDESC, 2006.
- NOVELINO, J.O.; MARCHETTI, M.E.; VITORINO, A.C.T.; MAUAD, M.; HOFFMANN, N.T.K. Cálcio e magnésio trocáveis pH e saturação em bases de amostras de solos submetidas a aplicação de mármore triturado. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo de Nutrição de Plantas. Anais. Londrina, 2008.
- OSTERROHT, M.V. Rochagem Para Quê? *Revista Agroecologia Hoje*, n. 20, p. 12-15, 2003.
- PINHEIRO, C.M.; SOUZA JUNIOR, J.O.; GROSS, E.; MENEZES, A.A. Efeito do pó de rocha MB-4 nas características químicas de um Latossolo Vermelho Amarelo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo de Nutrição de Plantas. Anais. Londrina, 2008.
- SANDIM, A.S.; BÜLL, L.T.; FURIM, A.R.; LIMA, G.S.; GARCIA, J.L.N. Phosphorus availability in oxidic soils treated with lime and silicate applications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 1215-1222, 2014.
- SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. The Assisat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. *African Journal of Agricultural Research*, v. 11, p. 3733-3740, 2016.
- SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Cerrado: correção do solo e adubação. (2 ed.). Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004.
- SOUZA, F.N.S. O potencial de agrominerais silicáticas como fonte de nutrientes na agricultura tropical. Tese (Doutorado em Geociências). Brasília: UnB-IGD, 2014.
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, p. 721-730, 2006.
- TOSCANI, R.G.S.; CAMPOS, J.E.G. Uso de pó de basalto e rocha fosfatada como remineralizadores em solos intensamente intemperizados. *Geociências*, v. 36, p. 259-274, 2017.
- VON WILBERT, K.; LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulphate in a spruce stand on an acidified glacial loam. *Nutrient Cycling Agroecosystems*, v. 65, p. 115-127, 2003.

NUTRIENT ELEMENT RELEASE FROM VOLCANIC SILICATE ROCKS: EXAMPLES FROM QUATERNARY BASALTS OF QUEENSLAND, AUSTRALIA

PETER VAN STRAATEN

University of Guelph, School of Environmental Sciences, Guelph, Ontario, N0B 2K0, Canada, pvanstra@uoguelph.ca

Abstract:

Basalts contain large amounts of plant nutrients with high nutrient release potentials. But chemical and mineralogical compositions and nutrient release rates of basalts vary. Quaternary intra-plate alkali olivine basalts from the Atherton Basalt Province of NW Queensland, Australia, were analyzed using standard XRF, SEM and elemental mapping techniques. The results of these investigations show the general sequence of silicate mineral dissolution: volcanic glass>olivine>plagioclase>clinopyroxene. The dissolution of glass results in the loss of Si, K, Na (and small amounts of P), olivine releases Si and Mg, plagioclase releases Na and Ca, and clinopyroxene releases Si and Ca. Finely ground basalts have been successfully applied on acid tropical soils for many years. In Queensland, the main application of these products, in combination with other fertilizers, is for bananas and sugarcane, both heavy feeders of Si, and peanuts and tomatoes (both for their high Ca requirements) and other crops. In Malaysia, the application of this basalt was successful for use on cacao. Application rates vary from 2.5 t ha⁻¹ to 25 t ha⁻¹. Several years of scientific research established the effectiveness of these young, finely-ground alkali olivine basalts. On weathered acid soils, basalt application results in slight increases in pH, reduction of Al-toxicity, increased cation exchange capacity, reduced P fixation, reduction in fertilizer use and increased yield.

Keywords: Agrogeology; basalt; x-ray mapping; silicate mineral dissolution; nutrient release.

INTRODUCTION

Rocks are the starting materials for most soils. Physical, chemical and biological weathering has, over time, transformed rocks to soils. Rocks are made up of solid minerals, some of which are very resistant to weathering, for example quartz, others break down easier, depending on various physical, chemical and mineralogical factors. Finely ground rocks as soil amendments have been used since many decades. Some of the earlier research is reviewed in van Straaten (2006).

The interdisciplinary science of Agrogeology is an attempt to bridge the gap between soil scientists and geologists to better understanding of the rocks–soils relationship ('which soils on which rocks?'), but also the practical aspects of how to improve impoverished soils with rocks, rocks for crops (van Straaten 2007). Many soils are deficient in plant nutrient elements like N, P, K, Ca, Mg and trace elements and Si.

One of the rock groups with high nutrient concentration and, more importantly, high natural nutrient release rates is basalt. Basaltic rocks vary in mineralogical and chemical composition. They include low-K tholeiitic basalts at mid-ocean ridges (MORBs), basalts of Large Igneous Provinces (LIPs) with tholeiitic flood basalts, Island Arc basalts, ocean island basalts, and continental intraplate alkali basalts. A well-studied group of voluminous 'young' (< 1 million year old) intra-plate basalts occur at the northeastern side of Australia (Whitehead *et al.* 2007). Finely ground alkali olivine basalt with a high volcanic glass component have been used studied by many researchers including Gillman (1980), Eggleton *et al.* (1987), Coventry *et al.* (2001), Gillman *et al.* (2002), and Southeast Asia by Anda *et al.* (2009, 2013). These specific basalts have been developed successfully by local entrepreneurs for use as soil amendments for highly depleted tropical soils. The current study was undertaken to better understand release mechanisms and rates of elemental release from these specific rocks.

Objective of the study was to establish the mineralogical and chemical composition of the Quaternary intra-plate alkali olivine basalts and the sequence of dissolution and nutrient element release from these sources during weathering. These data will provide the scientific basis to understand why the application of finely ground young alkali olivine basalt is successful when applied to highly weathered acid soils in tropical NE Australia and elsewhere.

METHODOLOGY

Samples of fresh Quaternary intra-plate alkali olivine basalts were collected from active aggregate quarries of the Fisher's Creek basalt near Innisfail, and the Tichum Creek basalt near Mareeba, Queensland. Rock surface cuts of the weathering rind were polished and x-ray maps were collected using a JEOL JSM-IT 500HR field emission scanning electron microscope (SEM) with an Oxford x-Max 800mm² silicon drift EDX detector at the Geoscience Laboratories, Ontario Geological Survey, Sudbury, Canada. Standard XRF whole rock analyses were conducted at Actlabs, Ancaster, Ontario, Canada.

The analyses at the selected sites included mineral identification and elemental mapping of the changes at the weathering front, in the transition zone and in the Fe-rich surface crust.

RESULTS AND DISCUSSION

Whole rock X-ray fluorescence (XRF) analyses of the elemental composition of the unweathered alkali olivine basalt show high concentrations of MgO, CaO, and a SiO₂ concentration of 47-49

% (Table 1). The K concentration ($K_2O = 1.8-1.9\%$) is relatively low but higher than from most tholeiitic basalts. No micronutrients were analyzed. Mineralogically, the basalts are composed of volcanic glass, olivine, plagioclase, clinopyroxene and accessory minerals including apatite. Small amounts of P were encountered in the volcanic glass component.

Table 1. Chemical composition of two alkali olivine basalts of the XRF analysis by Actlabs, Ancaster, Ontario, Canada.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	LOI
Fishers Creek	49.14	14.47	11.20	8.27	8.1	2.97	1.87	0.43	2.09
Tichum Creek	47.23	13.82	11.97	9.22	8.53	2.38	1.82	0.53	2.46

Samples of the weathering rind (Figure 1) of basaltic rock from quarries of the Atherton Basalt Province were polished and three transition zones identified in the laboratory. The SEM, elemental x-ray mapping and spot analyses was conducted at three sites. Below, only the chemical changes with nutrient element release in the weathering front, in an area with volcanic glass (at site 1), are shown.

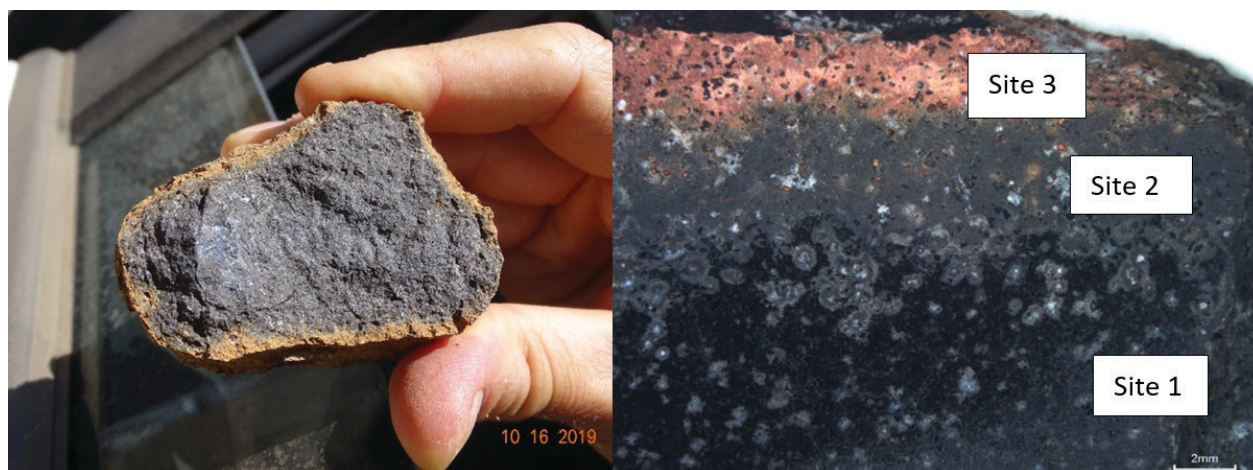


Figure 1. Weathering rind of the Tichum Creek alkali olivine basalt near Mareeba, Queensland, Australia. Bottom picture: Polished section of weathering rind with three zones: Fresh basalt = bottom, incipient weathering zone = middle, Fe-rich rind = top (scale = 2 mm). Sites of x-ray mapping study: 1 = contact of fresh basalt with weathering front; site 2 = transition zone; site 3 = Fe-rich outer weathering rind.

The Figure 2 shows SEM and elemental x-ray mapping data from site 1 illustrating the release of Si, K and Na from volcanic glass at the weathering front. The x-ray elemental maps show that the volcanic glass dissolves first, with a release of Na, K, Si and small amounts of P. Olivine releases Si and Mg, plagioclase releases Na and Ca, and clinopyroxene releases Si and Ca. One of the last mineral phases to break down is anorthoclase resulting in the release of K and the formation of kaolinite. In the outer rind zone (not shown here), complex weathering products of olivine and kaolinite are accumulated.

The general sequence of silicate mineral dissolution and nutrient release from the alkali-olivine basalts of Tichum Creek and Fisher’s Creek, Atherton Basalt Province, NE Australia is:

volcanic glass>olivine>plagioclase>clinopyroxene.

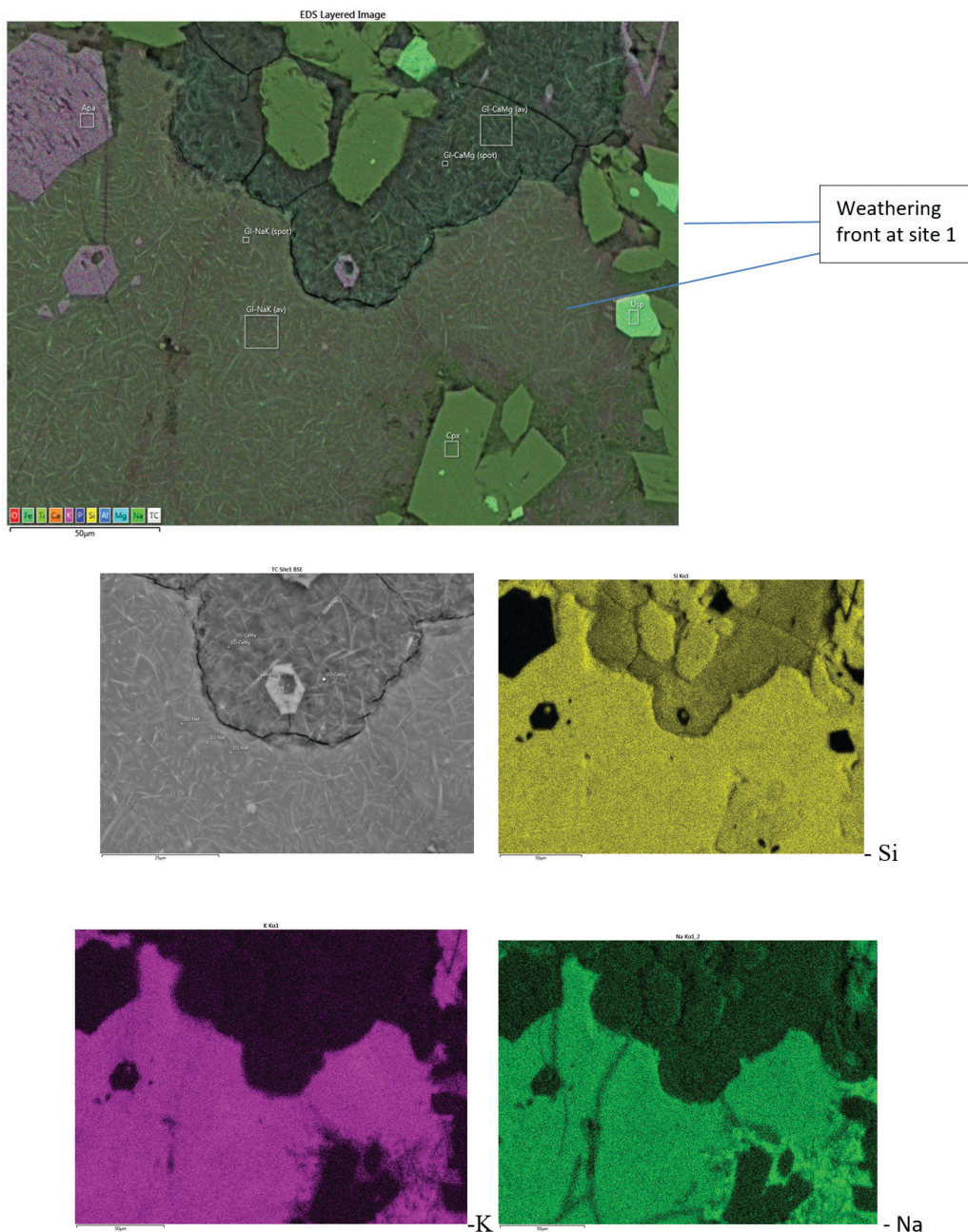


Figure 2. Detailed SEM and elemental x-ray mapping techniques with spot analyses illustrate the elemental changes at the weathering front at site 1. Silicon, K and Na are released from the volcanic glass fraction of the alkali olivine basalt from Tichum Creek, Queensland. Size of bar at bottom = 50µm.

Similar results were obtained from the upper flow of the Fisher's Creek basalt. This alkaline olivine basalt is composed of olivine (76-80% Fo), plagioclase (50An), clinopyroxene, and > 30% Si-K-Na-rich volcanic glass (McSkimming 1998), consistent with the findings of Eggleton *et al.* (1987).

Detailed SEM-EDS studies (not shown here) of the weathering rind of the Fisher's Creek basalt show that the dissolution of olivine phenocrysts results in Mg and Si losses and formation of Fe-oxides (iddingsitization). In the weathering rind, the loss of Ca from clinopyroxenes and the release of calcium and sodium from plagioclase is documented.

The mineralogical and chemical changes seen in the SEM and elemental mapping images serve as illustration of transformations that happen when finely ground basalt particles are introduced to highly weathered acid soils.

The fine-grained basalts from the lower flow of the Fischer's Creek basalt quarry were successfully marketed under the commercial name MINPLUS for use in agriculture in Australia and parts of South East Asia (Coventry *et al.* 2001, Anda *et al.* 2009, 2013). The product was sold for use on bananas and sugar cane plantations, for use on peanuts and tomatoes, and other crops. The production of bananas and sugar cane increased, in part because they are heavy feeders of Si, and peanuts and tomatoes have high Ca requirements. General application rate in NE Australia vary from 2.5 t ha⁻¹ to 25 t ha⁻¹ but is commonly successful at 2.5 - 5 t ha⁻¹. In Malaysia, the application of 5 t ha⁻¹ of this basalt was successful for use on cacao on deeply weathered tropical soils (Anda *et al.* 2009, 2013).

The material was finely-ground (<0.25 mm) and sold directly to customers who used it successfully as additive to soils in combination with standard fertilizers. The material has not been tested in combination with organic acids, that are known to increase solubility of minerals by several times (Hausrath *et al.* 2009, Wolff-Boenisch *et al.* 2004).

CONCLUSION

Basalt is one of the most widespread igneous rock in the world and is one of the best rocks to be used, in a finely ground state, to enhance soil productivity in areas with highly leached acid soils. The composition of basalts vary but commonly contain high concentrations of plant available Ca and Mg, Fe, and Si as well as slightly elevated concentrations of P and micronutrients. Young basaltic rocks contain a substantial amount of volcanic glass that is susceptible to rapid weathering and nutrient release. Detailed mineralogical and geochemical research of a young alkali olivine basalt from NE Australia illustrate the release chemistry of silicate rocks with a high dissolution rate. SEM and elemental x-ray mapping show the dissolution and nutrient release of volcanic glass, olivine, plagioclase and clinopyroxene in the

weathering rind of these basaltic rocks. The general sequence of silicate mineral dissolution and nutrient release is: volcanic glass>olivine>plagioclase>clinopyroxene. The mineralogical and chemical changes mapped in the alkali olivine basalt of NE Australia illustrate the transformations that happen when finely ground basalt particles are introduced to highly weathered acid soils.

A finely ground, young alkali olivine basalt from NE Australia is used successfully on highly weathered tropical soils with application rates of 2.5 to 5 t ha⁻¹. Best results are achieved on acid soils in tropical Australia on bananas, sugar cane, peanuts and tomatoes.

REFERENCES

- ANDA M, SHAMSHUDDIN J, FAUZIAH CI, and SYED OMAR SR 2009. Dissolution of ground basalt and its effect on Oxisol chemical properties and cocoa growth. *Soil Sci* 174:264-271.
- ANDA M, SHAMSHUDDIN J, and FAUZIAH CI 2013. Increasing net negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husks to promote cocoa growth under field conditions. *Soil & Tillage Res* 132:1-11.
- COVENTRY R, GILLMAN GP, McSKIMMING D, BURKETT DC, and HORNER NLR 2001. Rejuvenating soils with MINPLUS™. Rural Industries Research and Development Corporation, RRDC Publ No 01/173, Barton, ACT, Australia, 152p.
- EGGLETON RA, FOUDOULIS C, and VARKEFISSER D 1987. Weathering of basalt: changes in rock chemistry and mineralogy. *Clays Clay Min* 35:161-169.
- GILLMAN GP 1980. The effect of crushed basalt scoria on the exchange properties of a highly weathered soil. *Soil Sci Soc Am J* 44:465-468.
- GILLMAN GP, BURKETT DC, and COVENTRY RJ 2002. Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. *Appl Geochem* 17:987-1001.
- HAUSRATH EM, NEAMAN A, and BRANTLEY SL 2005. Elemental release rates from dissolving basalt and granite with and without organic ligands. *Am J Sci* 309:633-660.
- McSKIMMING D 1998. The potential of crushed basalt to ameliorate humid tropical soils. Unpubl B Sc thesis, James Cook University, Townsville, Queensland, Australia, 114p.
- VAN STRAATEN P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Ann Acad Bras Ciências* 78:731-747.
- VAN STRAATEN P 2007. *Agrogeology: the use of rocks for crops*. Enviroquest, Cambridge, Ontario, Canada, 426p.
- WHITEHEAD PW, STEPHENSON PJ, McDOUGALL I, HOPKINS MS, GRAHAM AW, COLLERSON KD, and JOHNSON D 2007. Temporal development of the Atherton Basalt Province, north Queensland. *Austral J Earth Sci* 54:691-709.
- WOLFF-BOENISCH D, GISLASON SR, OELKERS EH, and PUTNIS C 2004. The dissolution rates of natural glasses as a function of their composition at pH 4 and 10.6 and temperatures from 25 – 74 °C. *Geochim Cosmochim Acta* 68:4843-4858.

CARACTERIZAÇÃO DE SUBPRODUTOS DE MINERADORAS FRENTE ÀS ESPECIFICAÇÕES E REQUISITOS ESTABELECIDOS PARA REMINERALIZADORES DE SOLO

**MARISA BEZERRA DE MELLO MONTE¹, DIEGO MACEDO VENEU¹,
ELAYNNE ROHEM PEÇANHA¹, PATRICK DOS SANTOS ALVES¹**

¹ Centro de Tecnologia Mineral, Av. Pedro Calmon, 900, Cidade Universitária, Rio de Janeiro, CEP 21941-908, e-mail: mmonte@cetem.gov.br

Resumo

Este estudo caracterizou 23 amostras de subprodutos, gerados por diferentes mineradoras, frente às especificações e requisitos mínimos, estabelecidos na Instrução Normativa nº 5, do MAPA para remineralizadores de solo. Em relação à especificação, quanto à natureza física, 07 amostras obtiveram a maior parte do percentual em massa de suas partículas, entre farelado e filler (100% < 0,3mm); 09 amostras apresentaram percentuais que variam entre 21 a 100% da massa das partículas como filler; 06 amostras como pó (100% < 2,0mm; mínimo 70% < 0,84mm; mínimo 50% < 0,3mm), apresentando percentuais em massa entre 97 a 100%; e somente 01 amostra foi enquadrada como 100% farelado (100% < 4,8mm; mínimo 80% < 2,8mm; máximo 25% < 0,84mm). Considerando os critérios de soma de bases (CaO, MgO, K₂O) e teor de óxido de potássio (K₂O), 11 amostras encontraram-se dentro das especificações estabelecidas. Com relação ao critério de teor de quartzo (SiO₂), foi possível identificar se 13 amostras se encontraram dentro da especificação. Para o critério de teores de elementos potencialmente tóxicos, a grande parte, 20 amostras, não apresentaram concentrações acima do estabelecido. Somente 03 amostras apresentaram valores acima do estabelecido, uma delas para Hg (0,174 ppm) e as outras duas para As (3403 e 2154 ppm).

Palavras-chave: Resíduos; mineralogia; rochagem

INTRODUÇÃO

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a região Centro-Oeste, que contempla os estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, além do Distrito Federal, obteve uma produção, até agosto, de 121,9 milhões de toneladas de grãos (safra 19/20),

de um total de 253,7 milhões de toneladas projetadas, correspondendo a 48% da produção do país (Conab, 2020). A acidez do solo é um dos fatores mais importantes que limita a produtividade das culturas, em várias partes do mundo, inclusive no Brasil. Nos solos ácidos existem problemas de deficiência e/ou toxidez nutricional, baixa capacidade de retenção de água e baixa atividade dos microrganismos benéficos. Grande parte dos solos da região Centro-Oeste apresenta problemas desta natureza, sendo a sua produtividade baixa, em estado natural (Fageria e Stones, 1999). Para alcançar esta produção em solos ácidos e pobres em nutrientes é necessária a utilização de quantidades elevadas de corretivos e fertilizantes solúveis.

Segundo a Associação Nacional para Difusão de Adubos (Anda), a produção nacional, em 2019, foi de 7,12 milhões de toneladas de fertilizantes, o que representa uma redução de 12,8%, em relação a 2018. Em números gerais, o Brasil importou mais de 29,5 milhões de toneladas de fertilizantes em 2019 (Anda, 2020), correspondendo a mais de 80% da necessidade. Portanto, a agricultura brasileira está bastante dependente dos fertilizantes e do mercado internacional, o que torna o país vulnerável neste aspecto. Uma tentativa de diminuir esta dependência seria o uso de fontes alternativas de nutrientes, provenientes de rochas disponíveis nas proximidades das áreas de aplicação e plantio (van Straaten, 2010). A rochagem é um termo usado para designar uma técnica de fertilização natural, por meio da aplicação de remineralizadores, capaz de recompor os nutrientes, em solos empobrecidos pelo intemperismo/lixiviação, sem afetar o equilíbrio do meio ambiente.

Por definição, remineralizador é um material de origem mineral que sofreu apenas redução e classificação de tamanho de partícula por processos mecânicos, e que, quando aplicado ao solo, altera os seus índices de fertilidade, por meio da adição de macronutrientes e micronutrientes para as plantas, promovendo, assim, a melhoria de suas propriedades físicas, físico-químicas, ou da atividade biológica do solo (Brasil, 2013). De acordo com a Instrução Normativa nº 5 de 2016, os remineralizadores devem apresentar algumas especificações e garantias mínimas, dentre estas, podem-se destacar: (i) ter especificação quanto a sua natureza física, ou seja, sua granulometria (filler, pó ou farelo); (ii) a soma de bases (CaO, MgO, K₂O) deve ser igual ou superior a 9% (p/p); (iii) teor de óxido de potássio (K₂O) igual ou superior a 1% (p/p); (iv) teor de quartzo (SiO₂) livre inferior a 25% (v/v); (v) teores de elementos potencialmente tóxicos para: As < 15 ppm, Cd < 10 ppm, Hg < 0,1 ppm e Pb < 200 ppm (Brasil, 2016).

O presente estudo tem por objetivo a caracterização tecnológica de 23 amostras de subprodutos, provenientes de mineradoras, localizadas na região Centro-Oeste, frente aos requisitos especificados pela Instrução Normativa nº 5 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para possível uso como remineralizadores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção das Amostras

Vinte e três amostras, com cerca de aproximadamente 50 kg, foram obtidas em distintas mineradoras, localizadas na região Centro-Oeste. Inicialmente, as amostras foram submetidas à secagem, durante 24 h, a 60° C. Posteriormente, foi efetuada a homogeneização, em pilha piramidal longitudinal, na qual foram quarteadas subamostras, com cerca de 5 kg, utilizando-se, uma delas, para procedimento de determinação da distribuição granulométrica, para as diferentes frações: >4,8 mm; <4,8 >2,8 mm; <2,8 >2,0 mm; <2,0 >0,84 mm; <0,84 >0,3 mm; e <0,3 mm). A distribuição granulométrica foi realizada por peneiramento a seco, através de uma série de peneiras padrão, no aparelho Ro-tap.

Fluorescência de Raios X

A determinação química quantitativa elementar, que compõe as amostras, foi realizada por análise de Fluorescência de Raios X (FRX), em um equipamento PanAnalytical, modelo AXIOS MAX, utilizando o método standardless (análise semiquantitativa), para leitura das amostras, que foram preparadas por fusão, na diluição de 1 para 10, utilizando como fundente a mistura de boratos ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ - LiBO_2) da Maxxifluxi.

Difratometria de Raios X

O difratograma de raios X foi obtido mediante a análise de, aproximadamente, 3,0 g de amostra em pó, previamente homogeneizadas, em um equipamento Bruker-D4 Endeavor. As interpretações qualitativas de espectro foram efetuadas por comparação com padrões contidos no banco de dados PDF02, em software Bruker DiffracPlus. A quantificação completa das diferentes fases minerais das amostras foi realizada a partir da técnica de difratometria de raios X, e com o emprego do Método de Rietveld. O cálculo foi realizado pelo método de refinamento de espectro multifásico total (Método de Rietveld), com software Bruker AXS Topas, v. 3.0.

Espectrometria de Emissão Óptica e Absorção Atômica

Para determinação dos elementos foi necessária a decomposição de cerca de 10 g de cada amostra, através de abertura por água régia (HCl e HNO_3), para posterior leitura no ICP-OES, modelo Optima DV 4300 (Perkin Elmer) de Al, Na, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Zn, Co, Cd, Pb, As, Mo, P e S. Para determinação de Hg, a decomposição foi realizada com água régia (HCl e HNO_3) e soluções oxidantes ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, HNO_3 e HCl), para posterior leitura em AAS, modelo SpectrAA-55B (Agilent).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise Granulométrica

De acordo com a Instrução Normativa nº 5 de 2016 (IN5/2016), os remineralizadores devem seguir uma especificação de natureza física, ou seja, deve ser realizada uma classificação granulométrica (farelado, pó ou filler), levando em consideração os percentuais de partículas passantes (p/p), em 06 frações granulométricas, >4,8 mm; <4,8 >2,8 mm; <2,8 >2,0 mm; <2,0 >0,84 mm; <0,84 >0,3 mm; e <0,3 mm. Por se tratar de subprodutos, as distribuições granulométricas das amostras apresentam-se bem distintas em relação às suas massas, acumuladas nas diferentes frações utilizadas. A Tabela 01 mostra os percentuais em massa (p/p) das partículas de cada amostra que se enquadram na especificação de natureza física, estabelecida pela Instrução Normativa nº 5 do MAPA. É importante salientar que a IN5/2016 considera esta especificação como uma informação complementar importante, em relação à possibilidade de reatividade no solo e ao potencial de liberação de nutrientes.

Tabela 01 - Percentuais em massa (p/p) e especificação de natureza física das partículas de cada amostra.

Amostra	Especificação de Natureza Física			Amostra	Especificação de Natureza Física		
	Farelado ¹	Pó ²	Filler ³		Farelado	Pó	Filler
01			98%	13	64%		27%
02	48%		34%	14			100%
03	53%		21%	15	100%		
04	47%		40%	16		97%	
05			45%	17	48%		26%
06			89%	18		100%	
07	53%		30%	19			41%
08		99%		20			100%
09	63%		27%	21			21%
10		98%		22		99%	
11			94%	23		98%	
12			57%				

¹ 100%<4,8mm; mínimo 80%<2,8mm; máximo 25%<0,84mm; ² 100%<2,0mm; mínimo 70%<0,84mm; mínimo 50%<0,3mm; ³ 100%<03mm

Através da Tabela 01, pode-se observar que as amostras 02, 03, 04, 07, 09, 13 e 17 encontram-se com a maior parte do percentual em massa de suas partículas, entre as naturezas físicas farelado e filler. Já as amostras 01, 05, 06, 11, 12, 14, 19, 20 e 21 apresentam percentuais que variam entre 21 a 100% da massa das partículas como filler.

As amostras 08, 10, 16, 18, 22 e 23 enquadram-se como pó, apresentando percentuais em massa entre 97 a 100%. Somente a amostra 15 enquadrou-se com 100% de sua massa, na especificação farelado.

Para os subprodutos que se encontram distribuídos nas granulometrias mais grossas, o processo de cominuição seria recomendável para que estes possam se enquadrar como pó, ou mesmo filler, diminuindo, assim, seu tamanho e, conseqüentemente, aumentando a possibilidade de liberação dos minerais das rochas, como forma de acelerar a solubilização de alguns elementos favoráveis à nutrição e remineralização do solo.

De acordo com Carneiro et al. (2016), um desafio para o uso mais amplo dos remineralizadores é o aumento de sua solubilidade, o que os tornaria mais reativos lábil, com um maior potencial de liberação de nutrientes, atendendo melhor à demanda de culturas agrícolas de ciclo curto. Uma vez que a dissolução é uma reação de superfície, é um pressuposto amplamente aceito que partículas minerais de menor tamanho, de um mesmo material, tendam a reagir mais rapidamente.

Por outro lado, ao se adicionar o processo de cominuição (britagem e/ou moagem), para que os subprodutos sejam reduzidos à granulometria desejada, custos adicionais devem ser levados em consideração. Outros aspectos relacionados ao tamanho de partículas de remineralizadores são as observações de campo, que atestam a dificuldade de manipular e distribuir partículas muito pequenas, utilizando máquinas disponíveis para aplicação de fertilizante e calcário. Problemas como deriva pelo vento, entupimento dos mecanismos e dutos de distribuição são relatados pelos agricultores que utilizam estes materiais (Carneiro et al., 2016).

Fluorescência de Raios X

De acordo com a IN5/2016, os remineralizadores devem apresentar, em relação à soma de bases ($\text{CaO}+\text{MgO}+\text{K}_2\text{O}$), um teor igual ou superior a 9% (p/p), além de um teor de óxido de potássio (K_2O) igual ou superior a 1% (p/p). Na Tabela 02 são apresentados os valores percentuais obtidos das especificações, soma de bases e teor de K_2O , para as diferentes amostras dos subprodutos. Pode-se observar que as amostras 03, 05, 06, 08, 09, 10, 11, 15, 16, 17 e 18 encontram-se dentro das especificações estabelecidas. Outras amostras como 01, 02, 04, 07, 20, 22 e 23, apesar de não apresentarem os valores de soma de bases $\geq 9\%$, encontram-se com seus teores de $\text{K}_2\text{O} \geq 1\%$. Já as amostras 12, 13 e 19 apresentam-se com comportamento inverso, os valores de soma de bases estão $\geq 9\%$, mas os teores de K_2O estão $< 1\%$.

Tabela 02 - Percentuais da soma de bases (CaO+MgO+K₂O) e de teor de K₂O nas amostras.

Teor (%)	Amostra											
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Soma de Bases (CaO+MgO+K₂O)	8,8	7,1	33,5	5,7	14,5	9,8	7,8	15,7	14,8	14,4	14,6	9,7
K₂O	4,3	3,2	7,8	4,9	1,9	3,2	2,5	1,2	1,4	1,1	1,2	0,1
CaO	1,0	1,3	3,5	0,5	6,9	1,8	1,9	9,3	8,5	8,7	8,5	5,6
MgO	3,6	2,6	22,3	0,2	5,7	4,7	3,4	5,2	4,8	4,6	4,9	4,0

Teor (%)	Amostra										
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Soma de Bases (CaO+MgO+K₂O)	17,2	0,7	40,5	14,2	12,0	11,1	47,1	4,3	1,0	4,7	5,6
K₂O	0,9	0,6	1,3	12,6	11,5	10,3	0,2	3,4	0,9	3,3	3,6
CaO	10,1	38,2	0,1	0,8	0,1	0,2	46,4	0,4	--	0,2	0,6
MgO	6,2	1,1	0,1	0,8	0,5	0,6	0,5	0,5	0,1	1,1	1,4

A grande parte das amostras, que se encontram dentro das especificações de soma de bases (03, 05, 06, 08, 09, 10, 11 e 15), apresenta teores elevados de CaO e MgO. Estes subprodutos mostram-se com grande potencial para serem utilizados como fornecedores de Ca e Mg, e como corretivos de acidez do solo, ou seja, são capazes de neutralizar (diminuir ou eliminar) o efeito fitotóxico do alumínio e do manganês. Esta possibilidade irá depender da mineralogia e da presença de carbonatos. Já as amostras 16, 17 e 18 apresentam teores significativos de K₂O, o que pode representar teores de K⁺ trocáveis. O potássio é um elemento essencial para as plantas, estando diretamente ligado ao metabolismo, sendo fundamental para a fotossíntese (Potafos, 1998).

Difratometria de Raios X

A IN5/2016 estabelece que não serão registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) remineralizadores que contenham teores de SiO₂ livre (quartzo), superiores a 25% (v/v). A Tabela 03 mostra os teores de SiO₂ livre contidos nos subprodutos. O quartzo não é considerado uma fonte disponível de ácido silícico (H₄SiO₄ ou Si(OH)₄) (Lima Filho et al. (1999). A partir da determinação da composição mineralógica das amostras, foi possível identificar que as de número 03, 05, 08, 09, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18 e 19 encontram-se com teores de quartzo < 25%, ou seja, dentro da especificação.

Tabela 03 - Teores de SiO₂ livre (quartzo) nas amostras

Teor	Amostra											
(%)	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12
Quartzo	34,2	30,7	2,5	44,7	11,9	31,1	34,8	0,9	3,1	6,4	0,7	81,2
Teor	Amostra											
(%)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Quartzo	1,9	32,7	12,5	2,1	1,6	0,9	10,9	53,4	84,5	46,5	46,2	

Espectrometria de Emissão Óptica e Absorção Atômica

De acordo com a Instrução Normativa nº 5, elementos potencialmente tóxicos (EPT) podem estar presentes no produto, desde que seus teores sejam menores que 15 ppm para arsênio (As), 10 ppm para cádmio (Cd), 0,1 ppm para mercúrio (Hg), e 200 ppm para chumbo (Pb). A Tabela 04 mostra a composição elementar das amostras de subprodutos das mineradoras, separados por elementos tóxicos, além dos elementos alumínio (Al) e sódio (Na).

Tabela 04 - Composição elementar dos subprodutos em relação aos EPT

Amostra	Elementos (ppm)						Amostra	Elementos (ppm)					
	Hg	Cd	As	Pb	Al	Na		Hg	Cd	As	Pb	Al	Na
1	<0,05	0,06	<1,0	5,9	28900	<100	13	<0,05	0,05	<1,0	0,8	17500	3200
2	<0,05	0,03	<1,0	3,5	19100	100	14	0,174	0,02	14,0	10,1	4700	<100
3	<0,05	0,02	<1,0	2,0	61500	1300	15	<0,05	0,03	4,0	8,0	4700	200
4	<0,05	0,15	17,0	3,1	3200	200	16	<0,05	0,1	1,0	5,9	5000	200
5	<0,05	0,02	<1,0	6,0	10300	1300	17	<0,05	0,14	1,0	10,4	10100	100
6	<0,05	0,12	2,0	4,3	27100	<100	18	<0,05	0,17	<1,0	10,8	14400	<100
7	<0,05	0,1	2,0	3,9	23800	200	19	<0,05	0,24	<1,0	2,9	700	200
8	<0,05	0,06	<1,0	1,7	12500	1600	20	<0,05	0,08	2,0	4,7	3300	100
9	<0,05	0,06	<1,0	1,2	10500	1700	21	<0,05	0,01	2,0	2,6	600	<100
10	<0,05	0,09	<1,0	1,0	12100	1600	22	<0,05	1,8	3403	66,9	3900	<100
11	<0,05	0,08	<1,0	2,0	10700	2600	23	<0,05	1,45	2154	43	2100	<100
12	0,077	0,42	2,0	27,9	3700	<100							

Pode-se observar que somente 3 amostras apresentaram valores acima do estabelecido na Instrução Normativa nº 5. Na amostra 14, a concentração de Hg encontrada foi de 0,174 ppm, e nas amostras 22 e 23, que apresentaram concentrações de As maiores que o estabelecido como limite, correspondendo aos valores de 3403 e 2154 ppm, respectivamente.

Apesar de não contemplar limites de sódio (Na) e alumínio (Al) para remineralizadores, concentrações elevadas destes elementos podem causar problemas no solo. No caso do Na, os

efeitos adversos podem ser a diminuição da disponibilidade de outros nutrientes, do potencial da água, a compactação do solo, o aumento da resistência à penetração de raízes, e a inibição competitiva com outros íons. Com relação à introdução de Al em excesso, os efeitos adversos podem ser os fatores como solos predominantemente ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica (CTC), já contendo alta saturação de alumínio, e reduzida disponibilidade de fósforo, cenário muito comum em solos no Brasil, prejudicando muito o desenvolvimento de várias culturas.

CONCLUSÕES

Diante dos resultados obtidos, apresentados e discutidos, pode-se concluir que sete amostras possuem a maior parte do percentual (em massa de suas partículas) situada nas faixas granulométricas entre farelo e filler, nove amostras apresentam percentuais que variam entre 21 a 100% da massa das partículas como filler; seis amostras enquadram-se como pó, apresentando percentuais em massa entre 97 a 100%; e somente uma amostra enquadrou-se como 100% farelo. Com respeito ao critério de soma de bases (CaO, MgO, K₂O) e teor de óxido de potássio (K₂O), verificou-se que 11 amostras encontram-se dentro das especificações estabelecidas, sete amostras, apesar de não apresentarem os valores de soma de bases $\geq 9\%$, encontram-se com seus teores de K₂O $\geq 1\%$, e três amostras se apresentam com comportamento inverso, em que os valores de soma de bases estão $\geq 9\%$, mas os teores de K₂O estão $< 1\%$. Com relação ao critério de teor de quartzo (SiO₂), foi possível identificar que 13 amostras se encontram dentro da especificação, ou seja, com os teores de quartzo $< 25\%$. No critério de teores de elementos potencialmente tóxicos, a grande parte, 20 amostras, não apresentou concentrações acima do estabelecido. Somente 03 amostras apresentaram valores acima do estabelecido, uma delas para Hg (0,174 ppm), e as outras duas para As (3403 e 2154 ppm).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDA - Associação Nacional para Difusão de Adubos. Pesquisa Setorial: Principais Indicadores do Setor de Fertilizantes. Disponível em: < https://anda.org.br/wp-content/uploads/2020/09/Principais_Indicadores_2020.pdf >. Acesso em: 15/09/2020.
- BRASIL. Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004. Altera o Anexo ao Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004, que aprova o Regulamento da Lei no 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas destinados à agricultura. (Redação dada pelo Decreto nº 8.384, de 2014), 44 p., 2004.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa no 5, de 10 de março de 2016. Estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, 8 p., 2016.

- CARNEIRO, M.M.; IEDA, J.J.C.; AZEVEDO, A.C. É Possível Aumentar A Reatividade De Remineralizadores Sem Diminuir Tamanho De Partícula? In: Anais do III Congresso Brasileiro de Rochagem, Editores: Adilson Luis Bamberg. et. al. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Brasília: Embrapa Cerrados; Assis: Triunfal Gráfica e Editora, 455 p., 2016.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos, v.7 – Safra 2019/20, 66 p, 2020. Disponível em: < <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras> >. Acesso em: 15/09/2020.
- FAGERIA, N.K.; STONE, L.F. Manejo da acidez dos solos de cerrado e de várzea do Brasil. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 42p., 1999.
- LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G.; TSAI, S.M. O silício na agricultura. Potafos – Encarte Técnico, Informações Agronômicas, no 87, 1999.
- VAN STRAATEN, P. Rochas e Minerais como Fertilizantes Alternativos na Agricultura: Uma Experiência Internacional. In: Agrominerais para o Brasil. Eds. Francisco R. C. Fernandes, Adão B. da Luz, Zuleica C. Castilhos. – Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 303 p., 2010.
- POTAFOS – Instituto da Potassa & Fosfato. Manual Internacional de Fertilidade do Solo. Tradução e Adaptação Alfredo Scheid Lopes. 2ª Edição, Piracicaba, 177 p., 1998.

MINERALIZAÇÕES DE GRANADA NO POLO GEMOLÓGICO DE SÃO VALÉRIO DA NATIVIDADE (TO): FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO E MAGNÉSIO

EMANUELA REIS BROD¹; ALESSANDRA ELISA BLASKOWSKI¹

¹ Serviço Geológico do Brasil (CPRM). Setor Bancário Norte - Quadra 02 - Bloco H - Edifício Central Brasília - 1º andar, 70040-904, Brasília, DF, emanuela.brod@cprm.gov.br, alessandra.blaskowski@cprm.gov.br

Resumo:

Dados apontam a enorme dependência do Brasil em relação aos fertilizantes químicos solúveis, importados para utilização na agricultura. Percebe-se, devido a esse fato, o empenho do Serviço Geológico do Brasil - SGB (CPRM) em buscar soluções viáveis para reduzir essas importações e, ao mesmo tempo, aproveitar os descartes de mineração que sejam ricos em potássio, magnésio, cálcio e micronutrientes. Por isso, o SGB, por meio do Projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil, aprofundou estudos sobre condicionamento e remineralização de solos, e direcionou pesquisas no estado do Tocantins, visando a busca de novos insumos agrícolas, em especial os remineralizadores de solos (pós de rocha). A Mineração Rodolita Ltda., localizada no município de Peixe - TO, se sobressai por explorar granada, que ocorre junto aos biotititos/flogopititos, e por separar os descartes do beneficiamento em duas pilhas: “pilha de estéril” e “pilha de agromineral”, a qual já conta com, no mínimo, 250 mil toneladas armazenadas. Nove amostras foram submetidas à análise química, descrição petrográfica e microscopia eletrônica de varredura, para verificar o atendimento aos parâmetros estabelecidos na IN 05/2016, do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. As rochas têm elevado teor de potássio (média de 6%) e magnésio (média de 13%), além de micronutrientes importantes para o desenvolvimento do sistema solo-planta.

Palavras-chave: Polo gemológico de São Valério da Natividade; remineralizadores de solo; potássio; magnésio.

INTRODUÇÃO

Os levantamentos sistemáticos do IBGE mostram o amplo desenvolvimento do setor agrário no Brasil, com frequentes recordes de safras. Para conseguir esses índices, é necessária a adição de grande quantidade de fertilizantes e defensivos agrícolas, uma vez que os solos brasileiros são

bastante ácidos, intemperizados e frequentemente pobres em nutrientes. Apenas cerca de 19% dos fertilizantes utilizados são de produção nacional (ANDA, 2020), o que representa elevados custos de importação e uma grande e arriscada dependência para o setor e para o país.

Os fertilizantes químicos utilizados são altamente solúveis, o que por um lado é vantagem, pois disponibiliza o nutriente de imediato para a planta, mas, por outro lado, também acarreta perda de grande parte do produto por lixiviação. O uso de pó de rochas silicáticas, como fonte de macro e micronutrientes para a agricultura, pode ser uma solução para esse problema. O pó de rocha, de acordo com Van Strateen (2007), recompõe a fração de minerais intemperizáveis, portadores de nutrientes importantes para as plantas, o que melhora a capacidade de troca catiônica (CTC), aumenta a aeração e o pH do solo e estimula sua atividade biológica.

A evolução das pesquisas levou a duas importantes modificações no arcabouço legal sobre esse tema: (i) em 2013, os remineralizadores de solo foram incluídos como uma categoria de insumos agrícolas, por meio da edição da Lei nº 12.890, que definiu estes materiais geológicos e, (ii) em 2016, foi publicada a Instrução Normativa (IN) 05, do Ministério de Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA), que estabeleceu as normas e garantias para sua comercialização (Brasil, 2013 e 2016). Nesse cenário, o Serviço Geológico do Brasil – SGB/CPRM tem um papel relevante, uma vez que pesquisa e avalia possíveis fontes, por meio do projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil, de rochas, provenientes de descarte da mineração ou de depósitos não explorados, que possam ser utilizadas como fontes de macro e micronutrientes para a agricultura.

O estado do Tocantins, devido a sua grande variedade de ambientes geológicos e de litotipos, é uma das áreas atualmente estudadas pelo SGB. Além disso, o Estado também está incluído na nova fronteira agrícola, que compreende o bioma cerrado do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, o MATOPIBA, acrônimo da sigla dos estados (EMBRAPA). A utilização de descartes da mineração como remineralizadores, nesse contexto, surgiria como uma oportunidade para alavancar a atividade minerária e agrária do Estado.

Uma das áreas que mostra potencial é a região sudeste do estado do Tocantins, na qual está localizada a Província Gemológica de São Valério da Natividade, que agrupa os jazimentos de granada, nos arredores desse Município. Esses jazimentos ocorrem ao longo de um *trend* NE-SW e são explorados há pelo menos quatro décadas, tanto para utilização gemológica quanto industrial (Frasca e Lima, 2005).

O ambiente geológico desses jazimentos está inserido em terrenos paleoproterozoicos, compostos por hornblenda biotita granodiorito e hornblenda biotita tonalito protomiloníticos a gnáissicos, calcioalcalinos de baixo potássio, peraluminosos a metaluminosos, com relictos de supracrustais (metassedimentos e metavulcânicas), agrupados sob a denominação de Complexo Almas-Cavalcante e/ou Suíte Aurumina (Frasca *et al.*, 2010 e Frasca *et al.*, 2018).

Extensas zonas de cisalhamentos dúcteis transcorrentes dextrais, de médio a alto ângulo, de direção N25°- 30°E, cortam esse embasamento. Associadas a essas zonas, encontram-se o granada muscovita biotita granodiorito/tonalito e muscovita biotita granito, com bolsões pegmatíticos neoproterozóicos da Suíte Mata Azul. Essas intrusões teriam fornecido os fluidos hidrotermais potássicos, que migraram ao longo das zonas de cisalhamento, e se concentraram nas porções mais enriquecidas em biotita, formando um *trap* para os jazimentos de granada (Frasca *et al.*, 2010 e Frasca *et al.*, 2018).

Há diversas áreas sendo exploradas nessa região. A Mineração Rodolita Ltda. foi objeto deste trabalho, que visou a caracterização petrográfica e química do material de descarte dessa Mineração, para avaliar a potencialidade das rochas como fontes possíveis de macro e micronutrientes para uso agrícola.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada no projeto realizou-se em três etapas (Blaskowski *et al.*, 2016 e Blaskowski, 2018):

1 – Fase pré-campo: levantamento bibliográfico e compilação de dados de litoquímica, petrografia, recursos minerais, afloramentos e geofísica que, juntamente com o recorte do mapa de 1:1.000.000 - GISBrasil (Bizzi *et al.*, 2003), compuseram o Sistema de Informação Geográfica do estado do Tocantins, no qual foram selecionadas as Unidades de Interesse Agrogeológico (UIA), que consistem nos litotipos com prováveis usos como remineralizadores de solos.

2 – Fase campo: trabalho *in loco* nos garimpos, afloramentos e mineradoras das UIA. Coleta de 09 amostras na frente de lavra e nas diversas pilhas já formadas – tanto de processamento, quanto de estéril, da Mineração Rodolita Ltda: 2 amostras do embasamento, 1 amostra do saprolito e 6 amostras que representam a encaixante da mineralização.

3 – Fase pós-campo: confecção de lâminas delgadas polidas, preparação das amostras para análise por Difração de Raios X e análise química. As análises químicas foram realizadas na SGS Geosol Laboratórios Ltda., de Vespasiano (MG), com o uso das seguintes técnicas, para atender aos parâmetros da IN 05/2016:

- Análise de óxidos maiores, através de fusão por tetraborato de lítio, e leitura por Fluorescência de Raios X (FRX);
- Análise de elementos traços, através de fusão por metaborato de lítio, e leitura por ICP-OES/ICP-MS, e através de abertura por 04 ácidos e leitura por ICP-OES/ICP-MS;
- Análise de elementos traços voláteis, através da digestão por água régia, e leitura por ICP-OES/ICP-MS (análise que visou atender aos limites mínimos de detecção para Hg exigidos pela norma).

Foi realizada a descrição petrográfica de seis lâminas delgadas polidas, em microscópio de luz transmitida e refletida, marca Olympus, modelo BX51, para identificar e quantificar os minerais que compõem a rocha (tanto com potencial para agromineral quanto para os que requerem atenção, como o quartzo), e determinar a textura, o grau de alteração e a granulometria.

As análises por microscopia eletrônica de varredura (MEV), realizadas em conjunto com o Laboratório de Análises Mineraias (LAMIN) da Superintendência de Belém do SGB, permitiram o estudo minucioso das fases mineraias presentes e sua composição semiquantitativa. As análises seguiram as condições padrão de análise EDS, no LS-15 da Zeiss (WD=8,5mm e ETH=20Kv), e as ampliações das imagens BSE foram entre 55 e 3500 vezes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Mineração Rodolita Ltda. existe há pelo menos 15 anos. É uma lavra garimpeira (Garimpo do Gabi) que se tornou uma mineradora. As granadas extraídas são 100% exportadas para a China. A granada é do tipo rodolita (solução sólida entre almandina - piropo - espessartita) e possui tons violeta e tamanho muito variado. A granada ocorre associada aos biotititos/flogopititos que possuem formato sigmoidal, com espessura variando de 1,5 a 25m.

O processo de beneficiamento é todo mecânico/físico. Em 2019, havia apenas uma frente de lavra com 55m de comprimento e que estava alagada. Porém, várias pilhas de processamento já formadas eram exploradas.

Um dos grandes destaques dessa mineradora é que, há seis anos, ela separa o material estéril, formado pelo embasamento, do material encaixante da granada, denominado, nesse trabalho, de “pilha de estéril” e “pilha de agromineral”, respectivamente. A pilha de agromineral (Figura 1) conta com, no mínimo, 250 mil toneladas de material com granulometria inferior a 2mm. Ainda nesta pilha, observaram-se duas granulometrias: uma com material mais grosso (produto do primeiro beneficiamento, realizado por jateamento de água) e outra com material mais fino (produto do segundo beneficiamento, realizado em betoneiras). Foi coletada uma amostra de cada pilha para estudo e, também, nessas pilhas foi coletada uma amostra de grande volume para futuro ensaio agronômico.



Figura 1. Vista parcial da pilha de agromineral (A) e detalhe do biotitito/flogopitito coletado na pilha de agromineral (B).

A partir da descrição petrográfica e do MEV, além da análise química, as amostras foram classificadas petrograficamente em:

- 61A – biotitito/flogopitito (100% de biotita/flogopita/vermiculita e anfibólio como traço);
- 61B (embasamento) – biotita muscovita gnaisse (40% de quartzo, 30% de plagioclásio, 13% de muscovita, 10% de microclínio e 7% de biotita);
- 61C – biotitito/flogopitito (100% de biotita/flogopita/vermiculita e anfibólio como traço);
- 61D – biotitito/flogopitito (100% de biotita/flogopita);
- 61E (embasamento) – quartzo biotitito (80% de biotita/flogopita e 20% de quartzo);
- 61F - saprolito de biotita quartzito (70% de quartzo e 30% biotita/flogopita);
- 61G – biotitito/flogopitito mais grosso, coletado na pilha de agromineral;
- 61H – biotitito/flogopitito mais fino, também coletado na pilha de agromineral.

Nessa mineração, as rochas que têm potencial de se converter em agrominerais (ou mesmo em remineralizadores de solo) são formadas, majoritariamente (Figura 2A, B, C), por minerais de biotita/flogopita, em processo de alteração para hidrobiotita e vermiculita, e há ainda alguns minerais de anfibólio como traço. Na figura 2D, é apresentado o espectro e as análises semiquantitativas por EDS/MEV da biotita, com um pouco de Na em sua composição. Já na Figura 2E, o espectro e valores semiquantitativos observados, alto teor de Mg e ausência de K, são condizentes com a composição da vermiculita.

Os minerais de biotita e flogopita, em condição de intemperismo, são fonte de K, Fe e Mg; e a vermiculita, fonte principalmente de Mg, é um excelente condicionador de solos, que promove o aumento da capacidade de troca de cátions, aeração e retenção de nutrientes. Por estarem alteradas, essas rochas têm maior potencial para liberação de macro e micronutrientes para o solo. Somente nas amostras do embasamento, que são dispostas na pilha de estéril, foi observada a presença de quartzo.

Em termos químicos (Tabela 1), os teores dos elementos potencialmente tóxicos estão muito abaixo do estabelecido na IN 05/2011, e as rochas com potencial agromineral apresentam bons teores de macro e micronutrientes.

Rocha	Macronutrientes				Micronutrientes			Problemáticos		EPT			
	CaO	K ₂ O	MgO	SB	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	Na ₂ O	Al ₂ O ₃	As	Cd	Hg	Pb
%.....			%.....		ppm.....					
61A	0,05	9,09	11,50	20,64	40,8	11,8	0,17	0,63	23,6	<1	0,02	0,01	3,1
61B	0,24	5,53	0,31	6,08	75,8	0,67	<0,01	2,98	14,2	<1	<0,02	<0,01	13,9
61C	0,14	5,47	16,00	21,61	39,6	15,5	0,1	0,78	18,6	<1	<0,02	<0,01	3,6
61D	0,10	7,55	14,90	22,55	41,2	13,7	0,13	0,61	18,4	<1	0,02	<0,01	4,9
61E	0,09	3,23	5,25	8,57	64,7	6,22	0,07	0,48	18,0	<1	<0,02	<0,01	2,9
61F	0,06	2,34	3,27	5,67	73,8	5,68	0,07	0,20	10,9	<1	0,03	<0,01	1,9
61G	0,25	4,59	11,10	15,94	49,0	11,9	0,09	0,61	17,2	<1	0,02	<0,01	4,8
61H	0,17	5,08	13,20	18,45	43,0	13,2	0,1	0,50	18,9	<1	<0,02	<0,01	4,6

Os biotititos/flogopititos têm teores de soma de bases (K₂O+MgO+CaO) entre 16 e 23%, com teores de K₂O que variam de 4,6 a 9%, e teores de MgO com variação entre 11 e 16%. As amostras 61G e 61H, representativas da pilha de agromineral já formada, têm teores de K₂O (média de 4,8%) e MgO (média de 17,2%) muito atrativos para utilização como remineralizadores de solo, ainda que o Ca seja muito baixo. Teores declaráveis de micronutrientes de Si e Fe foram observados em todas as amostras, além de teores declaráveis de Mn variando de 0,1 a 0,17%.

Ainda que Van Gosen (2007) afirme que é comum a formação de minerais fibrosos com características de asbestos, no metamorfismo metassomático de rochas máficas/ultramáficas ricas em magnésio (caso das rochas da Mineração Rodolita Ltda.), nas amostras estudadas não foi observada a presença desses minerais.

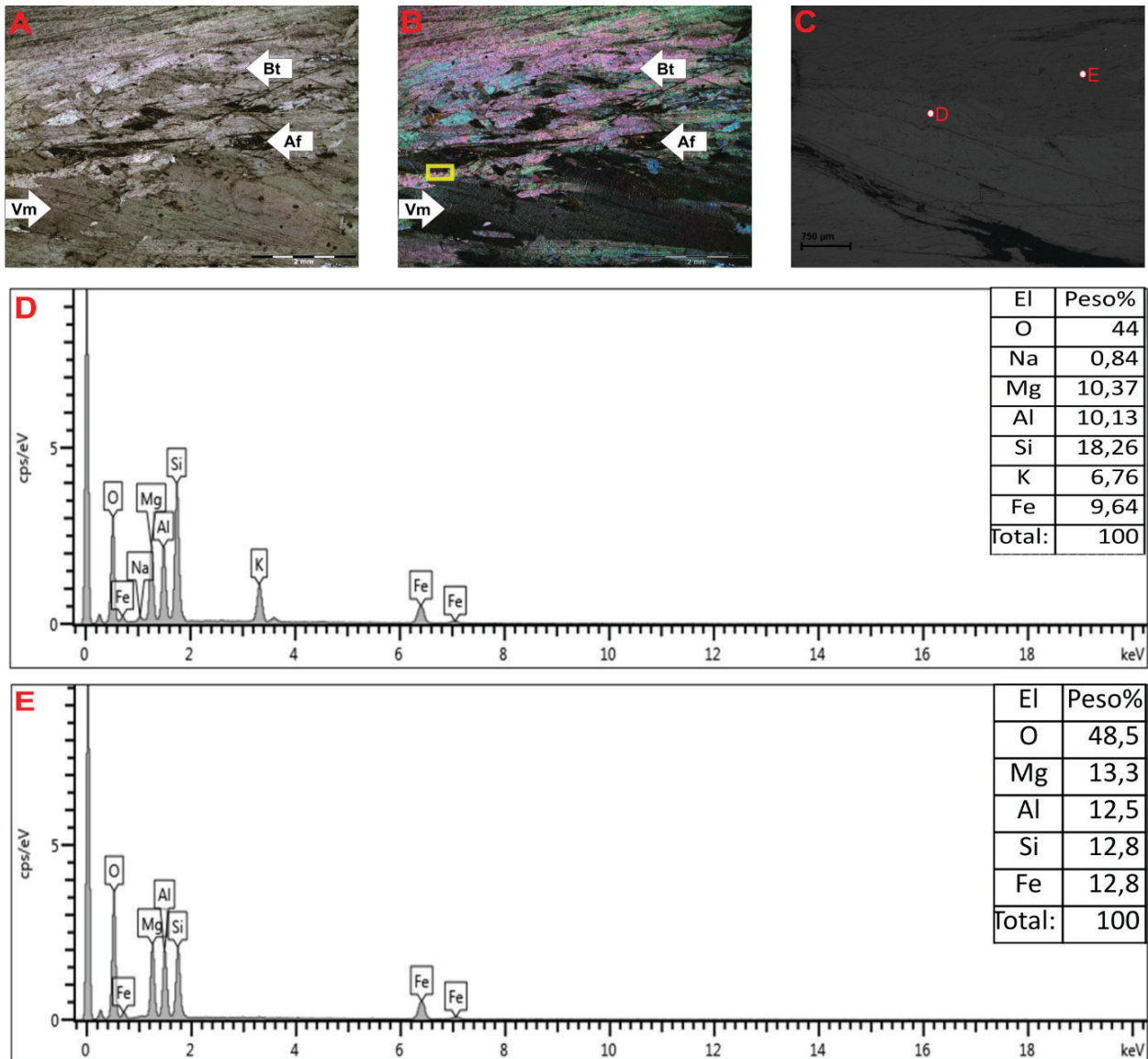


Figura 2. Fotomicrografias dos principais minerais das rochas da Mineração Rodolita Ltda. Minerais de biotita e vermiculita e resquícios de minerais de anfibólio, em nicos paralelos (A) e nicos cruzados (B). Na fotomicrografia B, o retângulo em amarelo indica o local onde foram realizadas as análises por MEV, nessa amostra. A fotomicrografia C é uma imagem BSE e os círculos brancos representam dois pontos de análises EDS. Nas imagens D e E são apresentados os espectros e os valores semiquantitativos de um mineral de biotita (D) e de um mineral de vermiculita (E). Abreviações: Af – Anfibólio, Bt – Biotita, Vm – Vermiculita.

Análises de difração de raios X ainda serão realizadas para confirmar a assembleia mineral da petrografia e, também, para avaliar a presença de polimorfos e fases amorfas que possam conter elementos considerados nutrientes para as plantas. Será, também, necessária a realização de ensaios agrônômicos para confirmar o potencial dessas rochas como fonte de nutrientes.

Considerando que as rochas do embasamento são dispostas em uma pilha diferente (pilha de estéril) das rochas que contêm a mineralização de granada (pilha de agromineral), os altos teores de potássio e magnésio encontrados na última bem como o seu volume, é possível afirmar que a Mineração Rodolita Ltda tem uma grande oportunidade de transformar o seu passivo ambiental em um subproduto que atenda aos critérios estabelecidos na IN nº05/2016.

CONCLUSÕES

A regulamentação para utilizar as rochas silicáticas como agrominerais de solo, somada à grande dependência do Brasil em relação aos fertilizantes químicos solúveis importados, levou o Serviço Geológico do Brasil a investir e direcionar estudos nessa área. Por estar na nova fronteira agrícola, conhecida como MATOPIBA, e pela sua diversidade geológica, o estado do Tocantins foi escolhido como uma das áreas para avaliação. Análises químicas, descrições petrográficas e análise por MEV foram realizadas nos biotititos/flogopititos da Mineração Rodolita Ltda. Os teores de K₂O e MgO se destacam pelos seus elevados valores, média de 6% e 13%, respectivamente. Ainda é necessária a realização de ensaios agronômicos para verificar o atendimento aos demais critérios da instrução normativa. Contudo, com os dados disponíveis até o momento, o descarte do beneficiamento da Mineração Rodolita Ltda. atende aos critérios químicos e petrográficos determinados na IN 05/2016, e demonstra ter grande potencial para ser utilizado como fonte de potássio e magnésio, além de micronutrientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, F. M. M. Brazilian structural provinces: an introduction; *Earth Science Review*, n. 17, p 1-29, 1981.
- ALMEIDA, F. F. M. HASUI, Y; BRITO NEVES, B.B. The Upper Pre-Cambrian of South America. *Bol. Hist. Geoc. USP*, n.7, p 45-80, 1976.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS E CORRETIVOS AGRÍCOLAS – ANDA. [Site institucional]. Disponível em: <https://anda.org.br/estatisticas/>. Acessado em 06/07/2020
- BIZZI, L.A. *et al.* (ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil: texto, mapas e SIG. Serviço Geológico do Brasil - CPRM, 2003. 692p. + 1 DVD com texto e 4 mapas. ISBN 85-230-0790-3.
- BLASKOWSKI, A.E.. Caracterização petrológica e química das rochas de rejeito da Mina Ipueira e seu potencial agromineral, Salvador, 2018.
- BLASKOWSKI, A. E., BERGMANN, M. e CAVALCANTE, A. O. Projeto Agrominerais da Região de Irecê – Jaguarari. Salvador: CPRM, 2016. 105 p.: il. color. + 4 mapas – (Informe de Recursos Minerais, Série Insumos Minerais para Agricultura, 19).
- BRASIL, 2016. IN 05/2016. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA N.º 05 de 10 de março de 2016. Dispõe sobre os critérios e protocolos em remineralizadores e substratos para as plantas, destinados à agricultura. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 de março de 2016. Seção 1, p.10-11.

- BRASIL, 2013. Lei n. 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Inclui os remineralizadores como uma categoria de insumo destinado à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial da União - Seção 1 - 11/12/2013.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, [Sítio institucional]. Disponível em: <https://www.embrapa.br/gite/projetos/matopiba/index.html>. Acessado em 06/07/2020
- FRASCA, A. A. S.; RIBEIRO, P.S.E.; LACERDA, J.V.; MENEGHINI, P.F.V.B.; MORAES, L. L.; LIMA, H.A.F. Geologia e recursos minerais da folha alvorada SD.22-X-B: escala 1:250.000, Projeto Sudeste do Tocantins, estado do Tocantins. Goiânia: CPRM, 2018. 292 p.: il.; 30 cm
- FRASCA, A.A.S.; LIMA, H.A.F.; MORAES, L. L.; RIBEIRO, P. S. E.; Geologia e Recursos Minerais da Folha Gurupi (SC.22-Z-D): Escala 1:250.000. Projeto Sudeste do Tocantins, estado de Tocantins. Nota Explicativa. Goiânia: CPRM, 2010, p.: il.; 30 cm.
- FRASCA, A.A.S.; LIMA, H.A.F.; BRITO, R.S.C. Caracterização Geológica da Granada Neoproterozóica da Província Gemológica de São Valério da Natividade - TO. in.: Simpósio de Geologia do Centro-Oeste, 9., Geologia e mineração no Centro-oeste. Anais. Goiânia: SBG - Núcleo Centro-oeste, 2005. 228 p. il.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE - Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. [Sítio institucional]. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>. Acessado em 06/07/2020
- VAN GOSEN, B.S., The geology of asbestos in the United States and its practical Applications. Environmental and Engineering Geoscience, p 55-68. 2007. <http://doi.org/10.2113/gseegeosci.13.1.55>.
- VAN STRAATEN, P. Agrogeology: the use of rocks for crops. Cambridge, Ontário: Environquest, 2007. 440p

TEMA 4

Associação com Microorganismos

BIOSSOLUBILIZAÇÃO DE ROCHAS E MINERAIS POR MICRORGANISMOS

ANTONIO NILSON ZAMUNÉR FILHO¹, NAYANE CRISTINA DA SILVA ARAÚJO¹, CARLOS CORDEIRO RIBEIRO¹, ALESSANDRA SILVA², GISELE RAMOS² E HENRIQUE TORQUATO².

¹Universidade Federal de Catalão (UFCAT), Av. Dr. Lamartine Pinto de Avelar, 1120, Setor Universitário, CEP: 75704-020, Catalão, Goiás

²CMOC Brasil, Niobras

Resumo:

O Complexo Carbonatítico Catalão II é composto por uma diversidade de rochas, nas quais se espera encontrar teores significativos de fósforo, nos rejeitos produzidos pelas minas dessa região. Diante deste fato, e da crescente demanda por fertilizantes no Brasil, visto que o país é dependente da importação do produto, o uso de rotas tecnológica sustentáveis de fertilização é uma alternativa a ser considerada. Uma dessas práticas é a tecnologia da rochagem, que utiliza materiais de origem mineral que tenham passado apenas por redução e classificação de tamanho das partículas. Apesar de a utilização de pó de rocha, no solo, fornecer todos os nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas, sob condições climáticas normais, o processo de liberação desses nutrientes é lento, devido à baixa solubilidade dos minerais. No entanto, para acelerar a solubilização dos nutrientes no solo, uma opção é a utilização de microrganismos, o que caracteriza uma biossolubilização. Portanto, o uso de pó de rocha, juntamente com processos de biossolubilização, oferece vantagens importantes, tais como a redução do problema da necessidade de importação de fertilizantes, o aproveitamento de subprodutos minerais e a expansão do uso de fertilizantes sustentáveis.

Palavras-chave: fertilizantes; pó de rocha; biossolubilização.

INTRODUÇÃO

O Complexo Carbonatítico Catalão II ocorre na forma de diques, com notáveis estruturas dômicas, e é composto por uma diversidade de rochas carbonáticas e silicáticas, sendo atualmente destaque pela mineração de Nióbio, com a empresa CMOC Brasil. Portanto, em virtude do material de origem, e dos métodos de produção utilizados nas minas da região de Catalão-GO,

se espera que sejam encontrados teores consideráveis de fósforo nos rejeitos produzidos pela mineração local. Visto que a geração de rejeitos é inerente aos processos de extração mineral, e que esses materiais não têm valor econômico expressivo, quaisquer iniciativas de redução desses co-produtos podem trazer benefícios econômicos e socioambientais às empresas (DUTRA; GUIMARÃES, 1970).

O Brasil está entre os principais produtores de alimentos no mundo, e por isso, também, é um dos maiores consumidores de fertilizantes, os quais são, em grande parte, importados. Dessa forma, há uma fragilidade econômica, devido à essa dependência de importações, visto que é um insumo essencial para a produção agrícola, que o país não consegue atender de forma adequada (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2004; MANNING; THEODORO, 2020).

Com isso, os agrominerais, derivados de rochas, resíduos de mineração etc., surgem como uma opção sustentável a ser utilizada na agricultura, com benefícios na nutrição de plantas e correção do solo, pois, além de contribuir para resolver o problema da dependência de importações, reduz impactos ambientais, derivados da utilização de fertilizantes químicos (MARTINS; THEODORO, 2010).

O processo de uso de rochas moídas, conhecido como rochagem ou remineralização de solo, utiliza minerais oriundos de rochas ígneas e metamórficas que contêm nutrientes como K, P, Ca, Mg e S, e que são necessários para o crescimento das plantas (MELO *et al.*, 2009; THEODORO *et al.*, 2010). A técnica da rochagem utiliza como insumos agrícolas os remineralizadores, que, de acordo com a Lei 12.890/2013 (BRASIL, 2013), são classificados como *“todo material de origem mineral que tenha passado apenas por redução e classificação de tamanho por meio de processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo com adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo.”*

O fósforo (P), um elemento essencial para todas as formas de vida, é obtido pelas plantas, através das soluções do solo, onde a sua concentração geralmente é muito baixa, especialmente em regiões tropicais. Devido à alta exigência pelas plantas, e à baixa disponibilidade no solo, o fósforo quase sempre é um fator limitante para o crescimento da maioria das espécies agrícolas. A principal fonte de P deriva de rochas fosfáticas, que precisam ter uso controlado uma vez que suas reservas são finitas e podem se esgotar no período entre os próximos 80 a 100 anos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

A adição de pós de rocha ao solo tem a capacidade de fornecer grande parte dos nutrientes necessários para o bom desenvolvimento das plantas. Porém, sob condições climatológicas normais, os processos de liberação desses nutrientes são relativamente lentos, devido à baixa solubilidade dos minerais. Assim, visando acelerar o processo de absorção de fósforo, uma opção é a utilização de microrganismos, para alterar o pH da solução, pois esse é um dos fatores que

controla a dissolução dos minerais. Isso ocorre graças à produção de enzimas extracelulares e ácidos orgânicos, resultantes da solubilização, que aumentam o crescimento da planta em solos com baixos percentuais de fósforo solúvel (TRIPURA et al., 2007). Além de aumentar a disponibilidade de P, os microrganismos podem facilitar a absorção e acessibilidade ao próprio elemento, por meio de alterações biológicas e fisiológicas nas plantas, (em especial nas raízes) e por mecanismos físicos, químicos e fisiológicos (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

O objetivo desse trabalho foi apresentar os resultados de um projeto que contempla a análise química e mineralógica e a avaliação da biossolubilização de materiais fosfáticos, carbonáticos e silicáticos, derivados da mineração de nióbio, como fonte de nutrientes para o desenvolvimento de plantas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Nos ensaios em laboratório, para verificar a capacidade de solubilização de fosfatos, foi utilizado o meio de cultura com 10 g de glucose, 2 g de extrato de levedura e 15 g de ágar. A este meio foram adicionadas uma solução contendo 0,25 g.L⁻¹ de K₂HPO₄ e outra contendo 1 g.L⁻¹ de CaCl₂, ajustando-se o pH para 6,5, com o intuito de se formar precipitado de fosfato (HARA; OLIVEIRA, 2004). Com o objetivo de visualizar a alteração do pH do meio de cultura pelos microrganismos, foi acrescentado o indicador azul de bromotimol, no meio, seguido de sua agitação. Os microrganismos usados foram a bactéria solubilizadora *Pseudomonas aeruginosa* e o fungo solubilizador *Saccharomyces* spp.. Foram testadas outras diferentes rochas, contendo fósforo como substitutas do K₂HPO₄, sendo estas Picrito, Riolito, Anfibolito, Carbonatito Calcítico, Carbonatito Dolomítico e o *Blend* dessas rochas. Para cada fonte de fosfato utilizada fez-se um meio de cultura, dividido em placas onde foram inoculados os microrganismos, sendo que os testes foram realizados em triplicata. As análises químicas de cada rocha foram realizadas nos laboratórios da empresa SGS Geosol Laboratórios LTDA, que possuem a certificação ISO 17025. A partir dessas análises, obteve-se, por meio de cálculos estequiométricos, as quantidades necessárias de cada rocha para ter a mesma proporção de fósforo do K₂HPO₄.

Além disso, como teste de controle, foi feito um meio de cultura com o K₂HPO₄, mas sem o uso do indicador azul de bromotimol. A finalidade desse procedimento de controle foi a verificação de que os testes feitos não foram comprometidos e que os resultados gerados são realmente representativos.

As medidas do diâmetro (ϕ) dos halos de solubilização, percebidos como uma área translúcida ao redor da colônia, e as do ϕ das colônias, foram mensuradas, a cada três dias, utilizando-se uma régua milimetrada. A partir dessas medidas, foram obtidos os índices

de solubilização de cada isolado por meio da fórmula: $IS = \phi \text{ Halo (mm)} / \phi \text{ Colônia (mm)}$ (HARA; OLIVEIRA, 2004).

Com base nos índices de solubilização, os microrganismos foram classificados como estirpes de baixa ($IS < 2$), média ($2 \leq IS < 4$) e alta solubilização ($IS > 4$). De acordo com o início da solubilização, os microrganismos foram classificados ainda como precoces, cujo início da solubilização se deu até o terceiro dia; tardias, com início após o terceiro dia; e 'não-solubilizadoras aparentes', aquelas que não apresentaram solubilização visível até o 15º dia de avaliação (HARA; OLIVEIRA, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as concentrações de P_2O_5 em %, fornecidas pela SGS Geosol Laboratórios LTDA, e os resultados dos cálculos da quantidade de rocha a ser usada em cada meio em g/l.

Tabela 1. Concentrações de P_2O_5 .

ROCHA	P_2O_5 (%)	CaO (%)	MgO (%)	K_2O (%)	SiO_2 (%)	Quantidade utilizada (g/l)
Picrito	4,76	11,3	8	2,95	13,4	2,10
Riolito	0,14	2,91	3,22	11,9	56,5	71,43
Anfibolito	0,39	10,8	7,67	9,45	35,7	25,64
Carbonatito Calcítico	0,91	38,7	5,68	2,02	7,67	10,99
Carbonatito Dolomítico	0,58	20,7	10,2	0,49	7,3	17,24
Blend	0,8	-	-	-	-	12,5

Os resultados das leituras dos diâmetros dos halos e das colônias serão apresentados nas tabelas 2 e 3, sendo esses separados por tipo de fonte de fosfato e microrganismos utilizados no meio.

Tabela 2. Resultados das leituras para a bactéria *Pseudomonas aeruginosa*.

Nº teste		Picrito	Anfibolito	Riolito	C. Calcítico	C. Dolomítico	Blend	K ₂ HPO ₄	
1 ^a Leitura	1	Halo	0	0	0	2	4	8	0
		Colônia	6	15	7	8	3	4	5
	2	Halo	0	0	0	0	4	6	0
		Colônia	5	7	6	8	4	8	4
	3	Halo	0	0	0	0	8	8	0
		Colônia	4	10	6	0	4	6	5
2 ^a Leitura	1	Halo	0	0	0	2	4	8	0
		Colônia	6	15	7	8	3	4	5
	2	Halo	0	0	0	0	4	6	0
		Colônia	5	7	6	8	4	10	4
	3	Halo	0	0	0	0	8	8	0
		Colônia	4	10	6	0	4	6	5
3 ^a Leitura	1	Halo	0	0	0	2	4	8	0
		Colônia	6	15	7	8	3	4	5
	2	Halo	0	0	0	0	4	6	0
		Colônia	5	7	6	8	4	10	4
	3	Halo	0	0	11	0	8	8	0
		Colônia	4	10	6	0	4	6	5
4 ^a Leitura	1	Halo	0	0	0	3	4	8	0
		Colônia	6	15	7	8	3	4	5
	2	Halo	0	0	0	0	4	6	0
		Colônia	5	7	6	8	4	10	4
	3	Halo	0	0	11	0	8	8	0
		Colônia	4	10	6	0	4	6	5
5 ^a Leitura	1	Halo	0	0	0	3	4	8	0
		Colônia	6	15	7	8	3	4	5
	2	Halo	0	0	0	0	4	6	0
		Colônia	5	7	6	8	4	10	4
	3	Halo	0	0	11	0	8	8	0
		Colônia	4	10	6	0	4	6	5

Tabela 3. Resultados das leituras para a o fungo *Saccharomyces* spp.

	Nº teste		Picrito	Anfibolito	Riolito	C. Calcítico	C. Dolomítico	Blend	K ₂ HPO ₄	Sem Indicador
1ª Leitura	1	Halo	0	2	0	6	0	10	0	0
		Colônia	4	2	0	4	3	4	4	0
	2	Halo	0	0	0	8	2	14	0	0
		Colônia	4	0	3	5	3	5	4	0
	3	Halo	0	3	0	2	2	10	0	0
		Colônia	4	3	0	3	3	5	5	0
2º dia	1	Halo	0	2	0	15	0	10	0	0
		Colônia	4	2	0	4	3	4	4	0
	2	Halo	0	0	0	21	3	14	0	0
		Colônia	4	0	3	5	3	5	4	0
	3	Halo	0	3	0	9	4	10	0	0
		Colônia	4	3	0	3	3	5	5	0
3º dia	1	Halo	0	2	0	19	0	10	0	0
		Colônia	4	2	0	4	3	4	7	0
	2	Halo	0	0	0	24	5	14	0	0
		Colônia	4	0	3	5	3	5	6	0
	3	Halo	0	6	0	14	7	10	0	0
		Colônia	4	3	0	3	3	5	6	0
4º dia	1	Halo	0	2	0	21	0	10	0	0
		Colônia	4	2	0	4	3	4	8	0
	2	Halo	0	0	0	32	5	14	0	0
		Colônia	4	0	3	5	3	5	8	0
	3	Halo	0	6	0	18	7	10	0	0
		Colônia	4	3	0	3	3	5	6	0
5º dia	1	Halo	0	2	0	21	0	10	0	0
		Colônia	4	2	0	4	3	4	8	0
	2	Halo	0	0	0	32	5	14	0	0
		Colônia	4	0	3	5	3	5	8	0
	3	Halo	0	6	0	18	7	10	0	0
		Colônia	4	3	0	3	3	5	6	0

De acordo com os resultados dos testes em triplicata do picrito, não houve crescimento do halo em nenhuma placa, durante os 15 dias de análise. Apesar de ser o material que contém maior porcentagem de P_2O_5 , em relação às demais rochas, isto fez com que a quantidade de material usada fosse pequena. Portanto, para essa rocha, as estirpes foram classificadas como não-solubilizadoras aparentes.

Os resultados do anfibolito foram um pouco diferentes do picrito, possivelmente pelo fato de que foi utilizada uma quantidade maior de material. Por conta disto, em uma das placas, não houve boa homogeneização do meio, o que ocasionou dificuldade de leitura do halo e da colônia. Houve crescimento do halo em duas placas, as quais possuem em comum o mesmo microrganismo, o fungo *Saccharomyces*. Porém, na primeira placa, o crescimento aconteceu apenas nos primeiros 3 dias, sendo a estirpe considerada como precoce, e o cálculo do índice de solubilização foi de 1, o que resulta em uma classificação para a *Saccharomyces* spp. como estirpe de baixa solubilização. Já na outra placa, em que se obteve crescimento do halo, houve aumento deste nos primeiros 3 dias, e, após 9 dias, ocorreu uma nova expansão em seu tamanho. Ainda, assim, a primeira classificação para *Saccharomyces* spp. é como estirpe precoce, e a segunda é como média solubilização, já que o resultado do cálculo do índice foi de exatamente 2. Para o caso da bactéria *Pseudomonas aeruginosa*, como não apresentou crescimento em nenhum meio, foi classificada como estirpe não solubilizadora aparente.

Os resultados do riolito foram semelhantes ao do picrito, em que nenhuma placa demonstrou crescimento do halo. Além disso, por ser um material com pouca quantidade de fosfato, foi necessária a utilização de uma grande massa de riolito para alcançar a porcentagem padrão, descrita na metodologia. Assim, em algumas placas, não houve completa dissolução do meio, o que pode ter dificultado não só a leitura, como o próprio crescimento da colônia e do halo. Dessa forma, as estirpes para essa rocha podem ser consideradas como não solubilizadoras aparentes.

A rocha Carbonatito Calcítico apresentou um dos melhores resultados para a biossolubilização, principalmente com a presença do fungo *Saccharomyces* spp., o qual gerou um índice de solubilização acima de 4, para todas as placas, sendo classificado como estirpe de alta solubilização. Além disso, para esse microrganismo, o crescimento do halo se deu dentro dos primeiros 3 dias, o que resulta na segunda classificação como estirpe precoce, apesar de ter crescido até o 15º dia. Já a bactéria *Pseudomonas aeruginosa* apresentou poucos resultados no Carbonatito calcítico, em que apenas em uma das placa houve crescimento do halo, porém, o crescimento foi baixo, com dimensão de apenas 3 mm. Dessa forma, a *Pseudomonas* foi classificada como estirpe de baixa ou nenhuma solubilização, e precoce, pois o crescimento ocorreu dentro dos primeiros 3 dias.

Para o Carbonatito dolomítico, os resultados gerados foram semelhantes em ambos microrganismos utilizados. Para o *Saccharomyces* spp., apenas em uma placa não houve crescimento do halo, e para as placas em que se obteve crescimento, grande parte resultou em um índice de solubilização baixo, e, em apenas duas, um índice médio de solubilização. Quanto ao tempo de aparecimento do halo, o mesmo cresceu nos primeiros 3 dias, o que permite classificar

as estirpes para essa rocha como precoces. Ao avaliar a continuidade de crescimento, nas placas com a *Pseudomonas aeruginosa*, a dimensão do halo permaneceu constante durante os 15 dias, enquanto nas placas com *Saccharomyces*, teve aumento contínuo até o 9º dia, e, após esse período, o tamanho permaneceu o mesmo até o final do teste.

O tratamento *Blend* resultou no crescimento do halo em todas as placas, mas uma característica única desse material é que o halo cresceu, nos primeiros 3 dias, e não teve aumento posterior, sendo as estirpes consideradas precoces. Para o fungo *Saccharomyces* spp., o índice de solubilização para todas as placas ficou entre 2 e 4, o que classifica o microrganismo como de média solubilização. Já para a *Pseudomonas aeruginosa*, um resultado foi de média solubilização, e os outros dois foram de baixa solubilização. Dessa forma, percebe-se que o fungo gerou melhores resultados para o *Blend* do que a bactéria.

O fosfato de potássio, testado, é o material de referência da metodologia utilizada. Porém, para os microrganismos testados, obteve-se apenas crescimento da colônia, o que classifica as estirpes como não solubilizadoras aparentes. Já para os testes de controle, como esperado, não se obteve crescimento do halo e nem da colônia. Isto garantiu que os resultados dos testes não foram corrompidos. Porém, foi observado ao longo das leituras, o aparecimento de mofo nas placas, principalmente após o 9º dia.

A partir dos resultados finais de crescimento dos halos, nos meios de cultura, foi feita uma análise de variância para a bactéria e o fungo utilizados. Com base nesta análise, os dados de crescimento foram submetidos ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade. A Tabela 4, abaixo, apresenta o resultado do teste. Para a bactéria, apesar de os valores de média, para o tratamento *Blend*, terem sido consideravelmente maiores que os demais, estatisticamente os resultados são considerados iguais, para todos os meios de cultura, independente da rocha utilizada. Já para o fungo, o Carbonatito Calcítico e o *Blend* se destacaram, com melhores resultados obtidos pelo Carbonatito.

Tabela 4: Análise de variância dos testes de biossolubilização.

<i>Pseudomonas aeruginosa</i>		<i>Saccharomyces</i> spp.	
Picrito	C	Picrito	C
Riolito	C	Riolito	C
Anfibolito	C	Anfibolito	C
C. Calcítico	C	C. Calcítico	A
C. Dolomítico	C	C. Dolomítico	C
<i>Blend</i>	C	<i>Blend</i>	B
K ₂ HPO ₄	C	K ₂ HPO ₄	C
Sem indicador	C	Sem indicador	C

CONCLUSÕES

Diante da realidade do país, em relação ao consumo de fertilizantes dependentes da importação, em conjunto com a presença de rochas do Complexo Carbonatítico Catalão II, passíveis de aproveitamento como remineralizadores, o uso dessas rochas, na fertilização de solo, é uma excelente alternativa, na solução desse problema. Dessa forma, além de contribuir com o aproveitamento econômico, também tem a vantagem de reduzir a quantidade de rejeitos levados para as barragens.

Os testes de bancada deste estudo mostram que nem todas as rochas testadas oferecem resultados positivos, mesmo com a presença de teores de fosfato em sua composição. Mas, os testes com o Carbonatito Calcítico e com o *Blend*, mostram que essas rochas podem ser uma excelente opção como remineralizadores, visto que são as que geram o maior crescimento do halo, nos meios de cultura. A vantagem do *Blend* é o fato de ele ser uma mistura de todas as rochas contidas no Complexo, ou seja, não é necessário fazer a separação das rochas, como no caso do Carbonatito Calcítico, que precisa ser separado dos demais materiais do depósito.

Portanto, o uso dessas rochas, em questão, como fertilizantes naturais, junto dos microrganismos, principalmente o fungo *Saccharomyces* spp., é uma opção para satisfazer a demanda por produtos desse ramo, no Brasil.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura. Lei nº 12.890, de 10 de dezembro de 2013. Dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura, e dá outras providências. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, dez. 2013.
- DUTRA, C.V.; GUIMARÃES D.,1970. Catalão II uma nova ocorrência de pirocloro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Brasília, 1970.
- HARA, F. A. S.; OLIVEIRA, L. A. Características fisiológicas e ecológicas de isolados de rizóbios oriundos de solos ácidos e álicos de Presidente Figueiredo, Amazonas. Acta Amazônica, v. 34, n. 3, p. 343-357, 2004.
- LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; NASCIMENTO, M. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas. n. 61. Centro de Tecnologia Mineral - CETEM. Série Estudos e Documentos - SED. Rio de Janeiro, 2004.
- MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. Congresso Brasileiro de Rochagem. In: Congresso Brasileiro de Rochagem, 1, 2010: Brasília. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem; editores Eder de Souza Martins, Suzi Huff Theodoro Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2010. 322p.
- MELO, V.F.; CASTILHOS, R.M.V.; PINTO, L.F.S. Reserva mineral do solo. In: MELO, V.F.; ALLEONI, L.R.F. (Ed). Química e mineralogia do solo: conceitos básicos. Viçosa, MG: SBCS, v.1, p.251-332, 2009.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e Bioquímica do Solo. 2. ed. atual. e ampl. Lavras: Editora UFLA, 2006.
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 1. 2010. Brasília. Anais... Planaltina: EMBRAPA Cerrados, p.173-181, 2010.
- TRIPURA, C; SASHIDHAR, B; PODILE, A. R. Ethyl Methanesulfonate Mutagenesis Enhanced Mineral Phosphate Solubilization by Groundnut-associated *Serratia marcescens* GPS-5. Curr Microbiol v.54, p.79-84, 2007.

BIOGENIC ACID BASED TREATMENT FOR PHOSPHORUS MINERALS BY *A. THIOOXIDANS* FOR THE SOLUBILIZATION PROCESS

MARTHA NATALIA ECHEVERRY A¹, DARÍO DE JESÚS GALLEGOS³, MARCO ANTONIO MÁRQUEZ G²

¹ Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. mnecheverrya@unal.edu.co

² Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Departamento de materiales y minerales. mmarquez@unal.edu.co

³ Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Departamento de procesos y energía. dgallego@unal.edu.co

Abstract: Phosphorus (P) is a fundamental element (for humans, plants and animals) because it composes almost every metabolic chemical reaction, and it also works as ATP energy conductor. P is a limited and non-renewable resource, mostly demanded by fertilizer industry. This research proposes a phosphorus solubilization process based on biogenic acid produced by *Acidithiobacillus thiooxidans* in a 5 L reactor. As result, 67% of solubilized phosphorus for 10 % of the mineral were obtained in the initial 5 min. After 90 min, 73% of solubilized phosphorus were obtained. Subsequently, the mineral was washed and submitted once more to biogenic acid, and 93% of solubilization were obtained. FTIR analysis detect calcium sulfate (gypsum) bands proper of the calcite's reaction in the acidulation process of the rock. Meanwhile, all the calcite-ankerite bands and some of the phosphorus bands disappeared, although quartz and dolomite had not undergone any changes. Results were attested by using XRD analysis. Comparison of biological and chemical processes, lead to conclude that the biological process exceeded in 44% the phosphorus solubilization by conventional chemical process. Results show viability of research on optimizing biogenic acid processes for low grade ore phosphoric rocks concentration.

Keywords: Bioleaching, *Acidithiobacillus thiooxidans*, biogenic acid, phosphate rock, FTIR, XRD.

INTRODUCTION

Colombian soils are diverse and fragile, only 7,5% of them are useful for high volume agricultural purposes (IGAC, 2012). In Colombia, most of the soils have a very low fertility due to their acidity, high content of interchangeable aluminum and low concentration of required nutritional elements such as calcium, magnesium, potassium, and phosphorus (Khalajabadi,2016). Use of fertilizers and low assimilation rock is commonplace in Colombia, to provide the high demand

of agriculture. The phosphorus ore required for fertilizers is provided by mines located in Boyacá, Norte de Santander, Huila, Cundinamarca, and Tolima (Agencia Nacional de Minería, 2018). Concerning to P fertilizer sources at Colombia, 95% of the phosphorus ores are used in the production of chemical fertilizers, and the remaining 5% is destined to animal food and chemical industry. Colombian phosphate ore deposits are classified as phosphorites, with low phosphorus content (between 3-36% P_2O_5). Fluorapatite is the prevailing mineral, followed by large proportions of calcite, quartz and minor ankerite and dolomite (Kauwenbergh, 2010). Ore composition shows sometimes to be not suitable for fertilizer formulation. (Aria et al., 2010). Due to the low-grade ores a lack of supply occurs, and high P demand drives to high increasing of importation from far away countries such as Egypt or Morocco. This is responsible for increasing in fertilizers price, and once fertilizers are needed to improve quality of Colombian soils (Vega, 2006), the rise in prices reproduces in the agricultural chain. Low concentration deposits also require a higher energy consumption and higher chemical reagent employment, making the chemical treatment expensive and inefficient in terms of recovery and costs (Nielson y Sarudiansky, 2013).

Phosphorus based fertilizers are industrially obtained by using the acidulation of the rock, with the sulfuric acid typically being the most used reagent. The economic efficiency of the process is based on the required amount of acid, dependent on the calcite ratio found on the rock. The chemical process extraction can turn very expensive, due to the low solubilization of the phosphorus. In an environmental approach term, the process of acidulation of phosphates is highly polluting, due either to the gas production, or high amounts of water required or consequent acid effluents with heavy metal traces, which require treatment (Miranda, 2002).

The purpose of this research is to show the result of using biogenic acid produced by the bacteria *A. thiooxidans*, used for solubilizing phosphorus, based on Huila's commercial phosphoric rock. Efforts have been made to approach the process studying mineralogic changes of the rock using the XRD and FTIR analyses. Also, analyses the spectrophotometrically measuring methods of the solubilized phosphorus and the sulfate concentration in solution were made. Finally, efficiency of this process was compared to conventional chemical proceedings.

MATERIALS AND METHODS

Phosphate rock: The phosphate rock was purchased from Inferhuila S.A. and comes from the deposit "Aipe y Tesalia" located in Huila, Colombia. The rock is a pulverized phosphorite. The material was characterized by FTIR, XRF and XRD analyses to determine mineral and chemical composition. Sieve analysis allowed to measure particle size distribution, using the Standard Test Method for Sieve Analysis of Raw Materials for Glass Manufacture according to ASTM International.

Microbial Growth: To produce biogenic acid, there was used the *Acidithiobacillus thiooxidans* ATCC strain from the American Type Culture Collection (ATCC), U.S.A. The modified medium 9K (Silverman and Lundgren, 1959) was used as the growth medium with composition (per liter) of 5 g $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0.5 g K_2HPO_4 , 0.5 g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 0.1 KCl and 0.001 g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. The media was modified, supplementing it with 4% elemental sulfur and adjusted to an initial pH of 1.8 with H_2SO_4 and 30°C temperature.

Bioleaching experiments: The bioleaching experiments were carried out for duplicating, using a 5L agitated reactor. The reactor contains 4500 ml of modified 9K medium, supplemented with 4% elemental sulfur and 10% inoculum of *Acidithiobacillus thiooxidans* strain. The strain was previously activated on elemental sulfur. The conditions of the reactor were 400 rpm, 0.3 vvm and 30 °C, operating for 12 days.

Leaching to the phosphate rock: For the P leaching, the phosphate rock was added in 10% concentration. The reaction took place during 90 min after the addition of the rock. For the monitoring the process, aliquots of 5 ml were taken every 5 min and the pH, free sulfuric acid and phosphorus in solution were measured.

Methods for analysis and Mineralogic Analysis: The concentration of released H_2SO_4 was determined by a NTC 5402 turbidimetric method with 420 nm wavelength, while the concentration of soluble phosphorus was determined using 4500-P C vanadomolybdophosphoric acid colorimetric method with wavelength of 470 nm (Clesceri, 1998). The measurements were done using a Genesys 10 UV Thermo Scientific® spectrophotometer. For the solids analysis by using X-ray diffraction (XRD) and Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) analysis, the material was air drying and ground in an agate mortar and pestle until a particle size of 74 μm was achieved. The XRD analyses were done in a Rigaku Miniflex II X-ray diffractometer, using $\text{CuK}\alpha$ radiation, Ni-filter (30 kV and 15 mA) and a graphite monochromator. Samples were scanned using a step-by-step method, from 3 to 70° 2 θ , with a step increment of 0.04° and 4 s of counting time. The X-ray diffractograms were processed using the X'pert Highscore Plus software. For the FTIR analysis, the samples were prepared by mixing 99 mg of KBr and 1 mg of the sample and pressed into a pellet. The infrared spectra were recorded in a Shimadzu FTIR 8400S spectrometer, using an interval between 400 and 4000 cm^{-1} , 4 cm^{-1} of resolution, 24 scans and a Happ-Genzel apodization. The spectra were processed using the software from Shimadzu IR Solution version 1.3.

RESULTS AND DISCUSSION

Phosphate rock: The mineral's XRD is shown on the figure 1, where five different phases of the mineral are observed: (F) fluorapatite; (C) calcite; (D) dolomite; (A) ankerite; (Q) quartz. The percentage of each phase of the mineral was found using the Rietveld's method of quantification (Table 1).

Table 1. Rietveld's method of quantification percentages

Mineral	Fluorapatite	Calcite	Dolomite	Ankerite	Quartz
Percentage	45.9	20	15.4	16.1	2.6

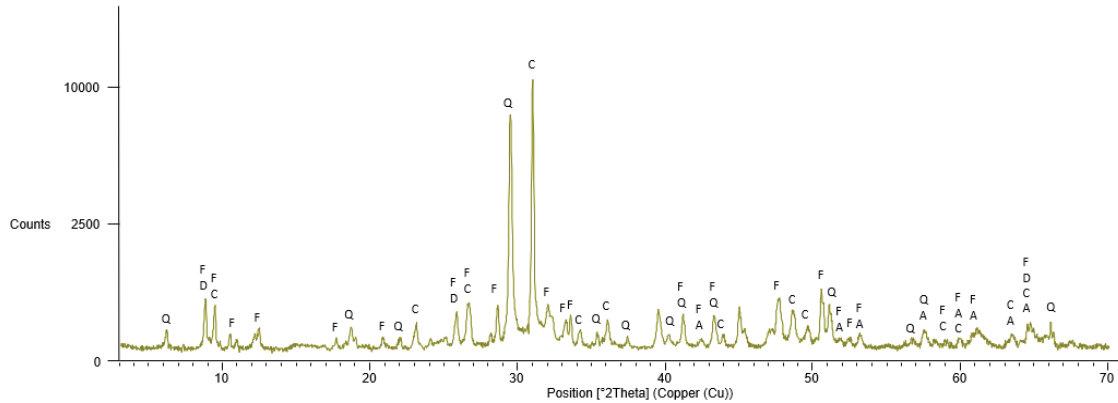


Figure 1. XRD diffractogram of the original phosphate rock

Leaching of phosphate rock: Initial conditions of the biogenic acid are showed at Table 2. The phosphorus solubilization based on the phosphoric rock in function of time shows that the leaching in 120 min was the total amount of time taken by the full reaction of solubilization, and no more phosphorus solubilization happened after this time.

Table 2. Initial conditions of the biogenic acid. 1F shows the treatment with 5 L of biogenic acid and 2F shows treatment with twice 5L of biogenic acid.

% Mineral	SO ₄ ⁻² (ppm)	pH
10% 1F	20772,73	0,38
10% 2F	21227,27	0,34

Due to the high amount of foam produced, it was not possible to control this reaction and it was necessary to add the mineral in small amounts. In this way, the total addition of the rock was made in 5 min, corresponding to 10% of suspended solids. After all the mineral was added to the acid, the timing “zero” was taken, having as purpose to measure sulfates and phosphorus.

The percentage of solubilized phosphorus is shown in the figure 1. These percentages correspond to “zero” minute timing and 120 min timing. It can be observed that 67% of the phosphorus of the rock was solubilized within 5 minutes (“zero” minute timing) and 73% within 120 minutes. Further, 93% P was solubilized within 187 min on the second treatment. With an increase of the phosphorus in solution around the 75th minute, the process is stable with a percentage of 10% of concentration. Sulphates were consumed completely, which shows that they are the

limiting reagent of the process, what means that the efficiency of the process will depend on the concentration of these reagents.

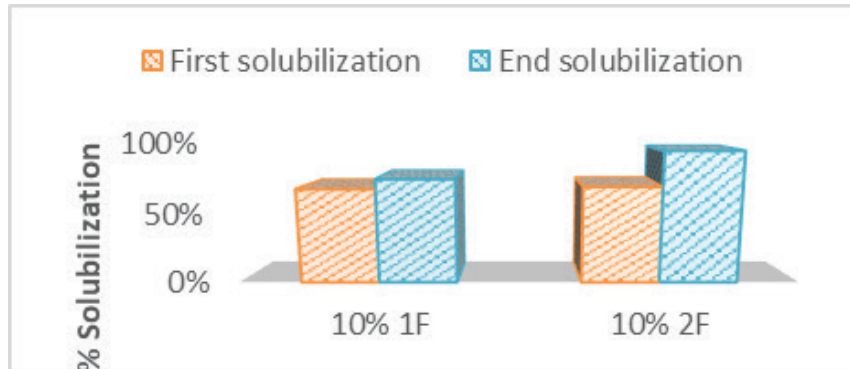


Figure 1. Percentage of solubilized phosphorus in “zero” min and 120 min timing.

Phosphorus solubilization is a subject of recent studies. There is a lack of research on improvement of this process and the biotechnological potential implications on taking this process to a pilot or industrial scale. The capability of biogenic acid to solubilize phosphorus from P ores is focused all along this research, amplifying previous studies (Calle et al. 2018b, 2018a). Calcite is the first mineral to show reaction by adding the phosphate ore to biogenic acid, producing as a result CO_2 (Berner, 1965). In francolite, composed of fluorapatite and calcium carbonate (Kauwenbergh 2010), phosphorus must be extracted to undergo solubilization. Using a Gibbs delta of -1128.84 kJ/mol , calcite's reaction prevails over fluorapatite's, being a fast reaction that consumes most of the medium of the culture sulfates during the initial minutes. Sulfates show a role of limit reagent (Calmanovici et al., 1997) having as purpose to allow the cationic interchange replacing calcium with hydrogen, when forming phosphoric acid (Miranda 2002; Sanyal y De Datta 1991).

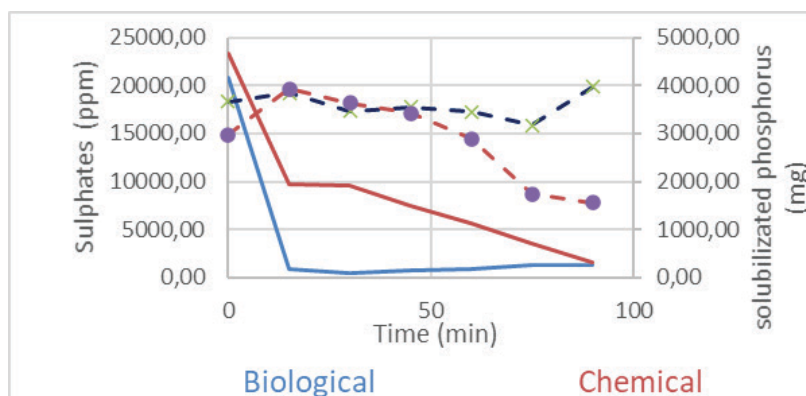


Figure 2. Sulphates and phosphorus solubilization using chemical and biological treatment.

Differences are clear comparing biological solubilization to the chemical processes. Around 60% of the sulphates were consumed when using inorganic acid within 15 min, while 96% of the sulphates were consumed using biogenic acid. The consumption of inorganic acid is slower, and although it keeps equal to the biological acid performance, the amount of solubilized phosphorus in both cases is different.

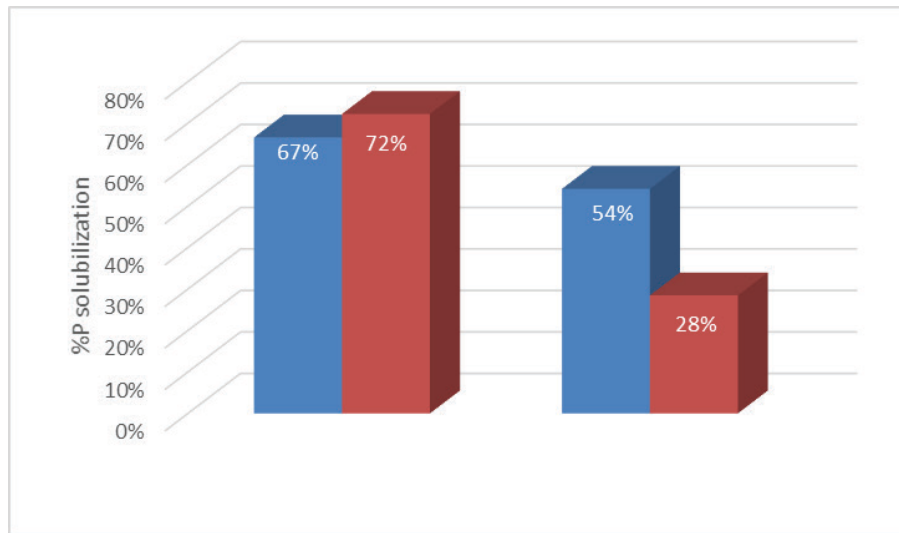


Figure 3. Percentage of solubilization at the start and at the end using chemical and biological treatments.

Mineralogical Analysis: FTIR analysis indicate that since the “zero” timing there are significant changes on the phosphate ore compared to the unthreatened sample (Fig 4). Phosphate (Ap) and calcite (CC) bands mostly disappear, and calcium sulphate (gypsum-Gy) bands appear in the samples of the phosphate ore treated. Dolomite (Dol) bands disappear almost completely, and quartz (Qz) bands are not affected along the process. Calcite bands (CC) are not observed in the samples from the second treatment. The solubilization of the fluorapatite (Ap) is evident by the reduction area of bands located around 570 cm^{-1} and 1043 cm^{-1} in both treatments. Comparing to traditional chemical process, it is important to notice that this process uses agitation only, without temperature or oxygen as a reaction catalyst. This fact allows to minimize energy consumption, temperature control and aeration.

When compared to the traditional chemical leaching process, it is important to show that this process uses only agitation, without temperature or oxygen as a reaction catalyst. This allows us to reduce extra expenses in terms of energy consumption, temperature control and aeration.

Increasing Phosphorus solubilization confirms previously exposed facts about metals and compounds over-saturation. The 68% of solubilization amount obtained for the first treatment confirming that sulphate is the limiting reagent, being that this is increased to 93% of P leached in the second treatment, after adding a new load of biogenic acid.

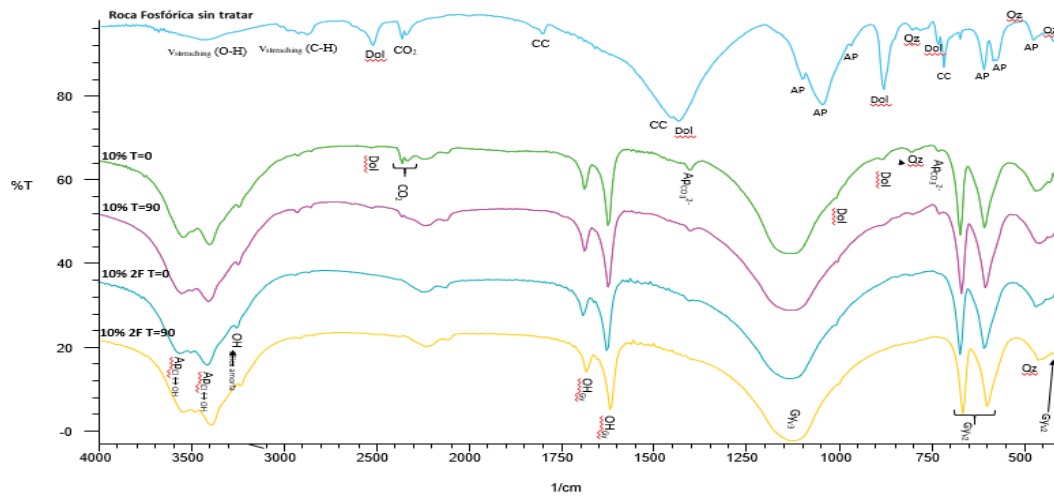


Figure 4. FTIR spectra comparing the treated rock and the untreated one on the first and second treatment.

Thermodynamic studies suggest that energy activation in acidulation reaction is controlled by the diffusion. (Zendah, Khattech, & Jemal, 2013). In terms of liquid-solid proportion, the higher the relation is, more efficient is the reaction. An increase of the bulk of the solution occurs when increasing the solid percentage. Therefore, the diffusion of calcium and phosphate ions freed in the solid surface is reduced. Also, the generation of calcium sulphate creates a system solid-solid-liquid, which blocks the acid's access to the mineral's grains so far preserved from reaction, driving the development of the reaction to a step or to a ultimate stop (Calmanovici et al.,1997; Olanipekun, 1999).

Biogenic acid's capability for solubilizing a greater quantity of phosphorus was demonstrated when comparing the reaction with the biogenic acid and the traditional chemical process with sulfuric acid to the same chemical conditions than the biogenic acid. Probably, the formation of colloids in the chemical process causes some buffer's zones in the reactor with the increasing of the pH and block full dissolution of the P ore (Olanipekun, 1998, Rooij et al.,1984). That's why high temperatures are required for catalyzing a reaction. Concentrations over 70% of sulfuric acid are used industrially to reduce problems related to the sulphate production (Miranda 2002). The occurrence of exopolysaccharides (EPSs) is another quality of the biogenic acid, which could be positively affecting the kinetics in the leaching of P from phosphate rock, using biogenic acid. Due to the importance of the bio-oxidation of minerals and surface corrosion, the previous research is conducted. They are mediators in the electronic interchange, creating biofilms (Gonzales et al, 2012; Wang, 2015; Zhou, 2014) that allow a better contact between the mineral's surface and oxidant ions. They also can modify the hydrophobic surfaces turning them into hydrophilic surfaces allowing the biogenic acid to act easily. (Zhang, et al, 2015, Gehrke, 1998) However, there is neither a record of specific studies nor clear results about the EPS's role in the biogenic acid for solubilization processes, including research of economic interest's compounds, and more specifically, possible relation of results with the species *A. thiooxidans*.

CONCLUSIONS

The capability of biogenic acid for phosphorus solubilization was proved, based on results of chemical tests. In every case, results obtained employing biogenic acid were better than those obtained by the traditional chemical solubilization. Also, it's notifiable that sulfates are the limiting reagent of the process, which justify acid concentration to be responsible for greater phosphorus's solubilization. Even though the concentration of sulfates being low, solubilization percentages of 93% were obtained within two treatments. Reprecipitating the phosphorus at the end of the reaction proved to be inefficient by both chemical and biological processes, at same conditions. Biotechnological processes for the treatment of phosphorus minerals proved to be more efficient, obtain better leaching rates and took place in less time than the traditional chemical processes. In addition, considering environmental concerns, biological processes are cleaner and cheaper.

REFERENCES

- Agencia Nacional de Minería. 2015. "Roca Fosfórica." (13): 1-2. https://www.anm.gov.co/sites/default/files/DocumentosAnm/roca_fosforica.pdf.
- Aly, H F et al. 2013. "Dissolution Kinetics of Western Deseret Phosphate Rocks, Abu Tartur with Hydrochloric Acid." *Arab Journal of Nuclear Science and Applications* 46(5): 1-16.
- Aria, Marzieh Mohammady et al. 2010. "Effect of Thiobacillus, Sulfur, and Vermicompost on the Water-Soluble Phosphorus of Hard Rock Phosphate." *Bioresource Technology* 101(2): 551-54. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2009.07.093>.
- Baumer, A., Ganteaume, M., and Klee, W.E. (1985) Determination of OH ions in hydroxyfluorapatites by infrared spectroscopy. *Bulletin Mineralogie*, 1
- Berner, Robert A. 1965. "Activity Coefficients of Bicarbonate, Carbonate and Calcium Ions in Sea Water." *Geochimica et Cosmochimica Acta* 29(8): 947-65. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703765900876>.
- Calle-Castañeda, Susana M., Marco A. Márquez-Godoy, and Juan P. Hernández-Ortiz. 2018a. "Phosphorus Recovery from High Concentrations of Low-Grade Phosphate Rocks Using the Biogenic Acid Produced by the Acidophilic Bacteria *Acidithiobacillus Thiooxidans*." *Minerals Engineering* 115(October 2017): 97-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2017.10.014>.
- . 2018b. "Solubilization of Phosphorus from Phosphate Rocks with *Acidithiobacillus Thiooxidans* Following a Growing-Then-Recovery Process." *World Journal of Microbiology and Biotechnology* 34(1): 1-10. <http://dx.doi.org/10.1007/s11274-017-2390-7>.
- Calle, Susana. 2016. 82 Significance "Evaluación de La Acidulación de Roca Fosfórica Empleando La Bacteria Acidófila *Acidithiobacillus Thiooxidans*." <http://www.bdigital.unal.edu.co/52635/>.
- Calmanovici, C. E., B. Gilot, and C. Laguerie. 1997. "Mechanism and Kinetics for the Dissolution of Apatitic Materials in Acid Solutions." *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 14(2): 95-102.
- FAO. 2007. 13 Boletín FAO Fertilizantes y Nutrición Vegetal Utilización de Las Rocas Fosfóricas Para Una Agricultura Sostenible. <http://www.fao.org/3/a-y5053s.pdf>.

- Fernandez, M. G M et al. 1995. "Occurrences at Mineral-Bacteria Interface during Oxidation of Arsenopyrite by *Thiobacillus Ferrooxidans*." *Biotechnology and Bioengineering* 46(1): 13–21.
- Freund, F. and Knobel, R.M. (1977) Distribution of fluorine in hydroxyapatite studied by infrared spectroscopy. *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions*, 1136–1140.
- Gobernacion del Huila, Secretaria de Agricultura y Minería and Zeolitas AFL Ltda. 2008. *Selección de La Mejor Alternativa Para La Industrialización de La Roca Fosfórica En El Depart. Del Huila*.
- Govender, Yageshni, and Mariekie Gericke. 2011. "Extracellular Polymeric Substances (EPS) from Bioleaching Systems and Its Application in Bioflotation." *Minerals Engineering* 24(11): 1122–27. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mineng.2011.02.016>.
- Henri, Dominique, and Roger Morin. 2007. "Chapter 7 Bioleaching of Sulfide Minerals in Continuous Stirred Tanks." : 133–50.
- IGAC. 2012. "Suelos En Colombia." Enero. <http://www.sogeocol.edu.co/documentos/05loss.pdf>.
- Jha, Anamika, Jyoti Saxena, and Vinay Sharma. 2013. "Investigation on Phosphate Solubilization Potential of Agricultural Soil Bacteria as Affected by Different Phosphorus Sources, Temperature, Salt, and PH." *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 44(16): 2443–58.
- John F. Ferguson, David Jenkins and John Eastman. 1973. "Calcium Phosphate Precipitation at Slightly Alkaline PH Values." *Journal (Water Pollution Control Federation)* Vol. 45(No. 4): 620–63110.
- Van Kauwenbergh, S. J. 2010. "World Phosphate Rock Reserves and Resources Technical Bulletin IFDC-T-75." Ifdc-T-75.
- Van Kauwenbergh, S. 2010. "World Phosphate Reserves and Resources." *Fertilizer Outlook and Technology Conference*: 1–18.
- van Kemenade, M. J.J.M., and P. L. de Bruyn. 1987. "A Kinetic Study of Precipitation from Supersaturated Calcium Phosphate Solutions." *Journal of Colloid And Interface Science* 118(2): 564–85.
- Lara, R. H. et al. 2010. "Interfacial Insights of Pyrite Colonized by *Acidithiobacillus Thiooxidans* Cells under Acidic Conditions." *Hydrometallurgy* 103(1–4): 35–44. <http://dx.doi.org/10.1016/j.hydromet.2010.02.014>.
- Levitt, S.R. and Condrate, R.A. (1970) The polarized infrared spectra of hydroxyl ion in fluorapatite. *Applied Spectroscopy*, 24, 288–289.
- Liu, Hsuan Liang, Yann Wen Lan, and Yang Chu Cheng. 2004. "Optimal Production of Sulphuric Acid by *Thiobacillus Thiooxidans* Using Response Surface Methodology." *Process Biochemistry* 39(12): 1953–61.
- van der Marel, H.W., and H Beutelspacher. 1976. "Atlas of Infrared Spectroscopy of Clay Minerals and Their Admixtures." : 396. https://books.google.com.co/books/about/Atlas_of_infrared_spectroscopy_of_clay_m.html?id=-WkZAQAIAAJ&redir_esc=y.
- Miranda, Sergio. 2002. *Fosfatos, Fosforo, Acido Fosfórico*.
- Nautiyal, C. Shekhar et al. 2000. "Stress Induced Phosphate Solubilization in Bacteria Isolated from Alkaline Soils." *FEMS Microbiology Letters* 182(2): 291–96.
- Olson, G. J., J. A. Brierley, and C. L. Brierley. 2003. "Bioleaching Review Part B:" *Applied Microbiology and Biotechnology* 63(3): 249–57. <http://link.springer.com/10.1007/s00253-003-1404-6>.
- Ossa, Diana M. 2005. "Biooxidación de Sulfuros Mediante Cepas Nativas de Acidófilos Compatibles Con *Acidithiobacillus Ferrooxidans* y *Thiooxidans* , Mina de Oro El Zancudo , Sulphide Bioxidation Using Native *Acidithiobacillus Ferrooxidans* and *Thiooxidans* , Related Acidophile Str." VII(2): 55–66.
- Paz, Adrian et al. 2012. "A Comparative Study of Hydroxyapatite Nanoparticles Synthesized by Different Routes." *Química Nova* 35(9): 1724–27. http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000900004&lng=en&nrm=iso&tlng=en.
- Rajan, S. S.S., and J. H. Watkinson. 1992. "Unacidulated and Partially Acidulated Phosphate Rock: Agronomic Effectiveness and the Rates of Dissolution of Phosphate Rock." *Fertilizer Research* 33(3): 267–77.

- Rodriguez-Blanco, Juan Diego, Samuel Shaw, and Liane G. Benning. 2011. "The Kinetics and Mechanisms of Amorphous Calcium Carbonate (ACC) Crystallization to Calcite, Viavaterite." *Nanoscale* 3(1): 265–71. <http://xlink.rsc.org/?DOI=CONR00589D>.
- De Rooij, J. F., J. C. Heughebaert, and G. H. Nancollas. 1984. "A Ph Study of Calcium Phosphate Seeded Precipitation." *Journal of Colloid And Interface Science* 100(2): 350–58.
- Rossi, G. 1999. "The Design of Bioreactors." *Process Metallurgy* 9(C): 61–80.
- Saikia, Bhaskar J., G. Parthasarathy, and N. C. Sarmah. 2008. "Fourier Transform Infrared Spectroscopic Estimation of Crystallinity in SiO₂ Based Rocks." *Bulletin of Materials Science* 31(5): 775–79. <http://link.springer.com/10.1007/s12034-008-0123-0>.
- Saikia, Bhaskar J., and Gopalakrishnarao Parthasarathy. 2010. "Fourier Transform Infrared Spectroscopic Characterization of Kaolinite from Assam and Meghalaya, Northeastern India." *Journal of Modern Physics* 01(04): 206–10. <http://www.scirp.org/journal/doi.aspx?DOI=10.4236/jmp.2010.14031>.
- Sand, Wolfgang. 1997. "Microbial Mechanisms of Deterioration of Inorganic Substrates - A General Mechanistic Overview." *International Biodeterioration and Biodegradation* 40(2–4): 183–90.
- Sand, Wolfgang, and Tilman Gehrke. 2006. "Extracellular Polymeric Substances Mediate Bioleaching/Biocorrosion via Interfacial Processes Involving Iron(III) Ions and Acidophilic Bacteria." *Research in Microbiology* 157(1): 49–56.
- Sanyal, S K, and S K De Datta. 1991. "Chemistry of Phosphorus Transformations in Soil." *Advances in Soil Science* Vol. 16 16: 1–120. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4612-3144-8_1.
- Sevim, F., H. Saraç, M. M. Kocakerim, and A. Yartaşı. 2003. "Dissolution Kinetics of Phosphate Ore in H₂ SO₄ Solutions." *Industrial & Engineering Chemistry Research* 42(10): 2052–57. <http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie020168o>.
- Siavosh Sadeghian Khalajabadi. 2016. 466 Avances Técnicos Cenicafe La Acidez Del Suelo, Una Limitante Común Para La Producción de Café. <https://www.cenicafe.org/es/publications/AVT0466.pdf>.
- Sun, Li Xin, Xu Zhang, Wen Song Tan, and Ming Long Zhu. 2012a. "Effect of Agitation Intensity on the Biooxidation Process of Refractory Gold Ores by Acidithiobacillus Ferrooxidans." *Hydrometallurgy* 127–128(3): 99–103. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304386X12001685> (October 8, 2014).
- . 2012b. "Effects of Dissolved Oxygen on the Biooxidation Process of Refractory Gold Ores." *Journal of Bioscience and Bioengineering* 114(5): 531–36. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22883535> (October 8, 2014).
- Veerasingam, S., and R. Venkatachalapathy. 2014. "Estimation of Carbonate Concentration and Characterization of Marine Sediments by Fourier Transform Infrared Spectroscopy." *Infrared Physics and Technology* 66: 136–40. <http://dx.doi.org/10.1016/j.infrared.2014.06.005>.
- Wang, Huawei et al. 2015. "Effect of Exopolymers on Oxidative Dissolution of Natural Rhodochrosite by Pseudomonas Putida Strain MnB1: An Electrochemical Study." *Applied Geochemistry* 59: 95–103. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.04.015>.
- Young, E.J., Myers, A.T., Munson, E.L., and Conklin, N.M. (1969) Mineralogy and geochemistry of fluorapatite from Cerro de Mercado, Durango, Mexico. USGS Professional Paper 650-D, D85–D93.
- Young, R.A., van der Lugt, W., and Elliott, J.C. (1969) Mechanism for fluorine inhibition of diffusion in hydroxyapatite. *Nature*, 223, 729–730.
- Zhu, Jing, Min Li, and Mick Whelan. 2018. "Phosphorus Activators Contribute to Legacy Phosphorus Availability in Agricultural Soils: A Review." *Science of the Total Environment* 612: 522–37. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.095>.

ESTRUTURA DE COMUNIDADES BACTERIANAS APÓS APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA NO SOLO

BETANIA ROQUETO DOS REIS¹ ANTÔNIO CARLOS DE AZEVEDO²

¹ Universidade de São Paulo (USP); Avenida Pádua Dias, 11. Bairro Agronomia, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, betania.reis@usp.br (Sublinhado - Autora Principal)

² Universidade de São Paulo (USP); Avenida Pádua Dias, 11. Bairro Agronomia, CEP 13418-900, Piracicaba-SP, aazevedo@usp.br

Resumo

O biointemperismo desempenha papel central nos ciclos biogeoquímicos no ambiente, desde a escala microscópica até planetária. Apesar disto, apenas recentemente o conhecimento sobre o biointemperismo avançou significativamente, graças ao desenvolvimento de técnicas moleculares. O microbioma de um solo é sensível às mudanças de uso, manejo, aplicação de insumos e outras modificações. Diversos estudos já reportaram que o uso de fertilizantes inorgânicos altera a estruturação da comunidade microbiana, mas pesquisas sobre o impacto dos pós de rocha no microbioma do solo são escassas. Esta pesquisa objetivou avaliar a mudança na comunidade bacteriana de um solo, após um mês da adição de quatro pós de rocha (Fonolito, Basalto 1, Basalto 2 e Granito) e um fertilizante potássico (KCl), cultivado com *Urochloa brizantha* cv. Marandu, em casa de vegetação. Utilizou-se a técnica T-RFLP (Terminal restriction fragment length polymorphism analysis) para mapear a estrutura bacteriana do solo. Os resultados mostraram que a comunidade bacteriana do tratamento com KCl apresentou estrutura diferente dos demais, talvez pelo potencial osmótico mais negativo associado à abundância de íons K⁺ e Cl⁻. Os tratamentos com rochas não provocaram diferenciação da comunidade bacteriana do solo em relação àquela do solo controle, no prazo de 1 mês de duração do experimento.

Palavras-chave: T-RFLP; Fonolito; Basalto; Granito; KCl

INTRODUÇÃO

Estima-se que, em 2050, a população mundial chegará a 9 bilhões de pessoas. O aumento da população induz à necessidade de maior produção de alimentos. O Brasil possui 223 milhões de hectares destinados às lavouras e pastagem, sendo mais de 11 milhões de hectares com pastagens em más condições ("IBGE", 2017).

A extração de nutrientes do solo é contínua durante cada ciclo de produção e as fontes de nutrientes são finitas. Assim, há necessidade de buscar alternativas para a reposição destes nutrientes no solo. Rochas são uma das alternativas para complementar esta necessidade (MANNING, 2015).

No entanto, observações e experimentos de campo têm apresentado resultados incompatíveis com a quantidade e cinética de liberação de nutrientes pelos pós de rochas. Por exemplo, Souza et al. (2017) utilizaram pó de biotita gnaissé como fonte de potássio na cultura do milho, e verificaram que doses crescentes do RM aumentaram a disponibilidade de K, a CTC e pH do solo, sendo o tratamento de 6 Mg ha⁻¹ de RM compatível com o tratamento com KCl. Já Resende et al. (2006) avaliaram três rochas como fonte de potássio, em diferentes culturas, e constataram que a liberação dos nutrientes é diferente entre as rochas, que há liberação de outros nutrientes além do potássio, e que o efeito residual dos remineralizadores é um ponto benéfico quando comparado ao fertilizante solúvel.

Estes resultados sugerem que a abordagem da remineralização por um viés exclusivamente químico-inorgânico não é suficiente para entender e prever o funcionamento do sistema.

Mais recentemente, as pesquisas ressaltam a importância dos minerais e rochas na dinâmica dos ecossistemas terrestres, (por exemplo, Landeweert et al. (2001) e Ward et al. (2013)), sugerindo que estas interações também devem ser significativas durante a remineralização do solo.

Uma vez que microrganismos litotróficos existem desde os primórdios da vida na Terra, é lógico aceitar que os microrganismos do solo e plantas terrestres co-evoluíram, desde pelo menos o Devoniano, há 500 milhões de anos (BRUNDRETT, 2002; LAMBERS et al., 2009; VERMA et al., 2017).

Estudos já demonstram a interação de microrganismos no intemperismo e pedogênese (NEMERGUT et al., 2007; TURNER et al., 2017; ZUMSTEG et al., 2011), e a alteração da comunidade microbiana, de acordo com o manejo e práticas agrícolas adotadas (LUPATINI et al., 2013; MENDES et al., 2014; RODRIGUES et al., 2013).

Do ponto de vista da aplicação de pós de rocha no solo, pesquisas realizadas com minerais e micro-organismos em biofilme demonstraram maior dissolução de minerais silicatados em mecanismos de dissolução de fluxo contínuo e descontínuo, quando comparado ao controle sem biofilme (SEIFFERT et al., 2014). Barker e Banfield (1998), avaliaram frente de intemperismo em minerais silicatados em microscópio eletrônico, e concluíram que a ação de micro-organismos geram zonas de alteração no mineral, com formação de esmectitas e goethita. Basak e Biswas (2010) estudaram o uso de mica com bactérias fixadoras de nitrogênio e obtiveram maior acúmulo de biomassa, disponibilidade de nutrientes, principalmente na manutenção de K e N, ao longo do desenvolvimento da cultura, sugerindo uma fonte alternativa de nutriente com rochas.

Florentino et al. (2017) também concluíram que cepas de bactérias fixadoras de nitrogênio favoreceram a liberação de K, quando comparadas ao controle.

No Brasil, pesquisas com pós de rocha e microrganismos solubilizadores de P já são conhecidas (DOUMER et al., 2011; SILVA et al., 2011; TAVARES et al., 2018), porém, pouco ainda se conhece sobre como o uso de pós de rochas ígneas silicáticas afetam a comunidade de micro-organismos já existentes no solo.

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar a interação da presença de quatro pós de rocha, distintos na comunidade bacteriana do solo, após um mês de aplicação, comparando a estrutura bacteriana com os controle sem aplicação e com o uso de um fertilizante solúvel (KCl).

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, durante um mês, em vasos com 2,5 kg de solo. O solo utilizado foi o horizonte A de um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, típico de textura média, desenvolvido a partir de granito (com muscovita), coletado na região de São José do Rio Pardo - SP. A escolha deste solo se baseou, principalmente, no critério de que a mineralogia do material de origem fosse o mais díspar possível da mineralogia da maioria dos pós de rocha utilizados. Assim, o pó de rocha a ser aplicado será de um granito com biotita. Os pós de rocha utilizados foram escolhidos em função da quantidade e diversidade dos minerais-fonte de potássio, e, por isto, o uso de um tratamento com fertilizante KCl, utilizado como comparação.

O experimento possuiu seis tratamentos: T1-Controle, T2-KCl, T3-Fonolito, T4-Basalto1, T5-Basalto2 e T6-Ganito, com quatro repetições, totalizando 28 vasos. Os pós de rocha foram triturados em britador de mandíbulas e depois em moinho motorizado de gral e êmbolo de porcelana (Marconi, modelo MA890). Após a peneiração, todas as frações de tamanho de partícula do pó de rocha foram preparadas para ter uma distribuição de tamanho de partícula semelhante (base de massa): 50% de areia muito fina (de 0,10 mm a 0,05 mm), 25% de areia média (de 0,5 mm a 0,25 mm) e 25% de areia muito grossa (de 2 mm a 1 mm). Essas frações foram escolhidas para concentrar grãos de rocha em frações onde o solo possuía pequena quantidade de material, de modo que pudéssemos concentrar as análises químicas e mineralógicas nestas frações “ricas em pó de rocha”, ao final do experimento.

Para tratamentos com pós de rocha foi aplicado dose única de 20 g por vaso, equivalente a 21 ton.ha⁻¹, sendo 5 g de AMG, 5 g AM e 10 g de AMF. No T2-KCl, foi aplicado a 0,3 Mg ha⁻¹ KCl (grau de reagente, Merck), conforme recomendado por Novais et al.(1991), para solos brasileiros. A cultura utilizada no experimento foi *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, devido à representatividade no Brasil, rusticidade e elevada exsudação radicular.

1. Análises descritivas e molecular

O solo foi previamente analisado, para os índices mineralógicos e de fertilidade química, de acordo com os métodos padrões do Estado de São Paulo (DE CAMARGO et al., 2009).

A mineralogia do solo e dos pós de rocha foi analisada pelo DRX de bancada Rigaku Miniflex II, usando radiação $\text{CuK}\alpha$, a 30 kV e 15 mA, acoplado a um monocromador de grafite e um suporte de amostra giratório. As amostras foram irradiadas de 3 a 60 $^{\circ}2\theta$, a 0,01 $^{\circ}2\theta \text{ s}^{-1}$. Os DRX foram manipulados, utilizando o “Match!”. O software (Cristal Impact, BRANDENBURG e PUTZ, 2003) e os espaçamentos minerais foram analisados usando o banco de dados de referência COD (“Crystallographic open Database”) e tabelas mineralógicas em Chen (1977) e Brindley e Brown (1980).

Os pós de rocha foram analisados em sua composição total (48 elementos, exceto Si), utilizando digestão ácida e determinação por ICP-AES e ICP-MS. O silício (Si) e os principais óxidos (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , Cr_2O_3 , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , SrO e BaO) foram determinados por fusão com tetraborato de lítio, seguido de dissolução ácida e análise ICP-AES. Na coleta, 2 ml de solo foram armazenados, em Eppendorf, e mantidos congelados a -80°C . Para a extração do DNA de 0,4 g de solo, foi utilizado o kit comercial PowerSoil DNA Isolation (MoBio, Inc. Solana Beach, USA).

Após a quantificação e identificação de integridade do DNA extraído, foi extraída a amostra utilizada para análise do material genético, por T-RFLP. A análise Terminal Restriction Fragment Length Polymorphism Analysis (T-RFLP) foi usada para caracterizar a estrutura da Comunidade de Solo Bacteriano (BSC). O gene bacteriano 16S rRNA foi amplificado usando os iniciadores 8-FM (5'-6AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3') e 926r (5'-CCGTCAATTCCTTTRAGTTT-3') e (Schütte et al., 2009a). O iniciador 8-FM é marcado com 6-FAM (6-carboxi fluoresceína). A mistura da reação consistiu em 1 μl de modelo de DNA (ca. 50 ng), 4 μl de dNTP, 0,1 μl de cada primer, 5 μl de PCR Buffer X10, 6 μl de MgCl_2 (50 mM) e 0,2 μl de DNA de platina Taq polimerase (Sinapse Inc), em um volume final de 50 μl . As amplificações foram realizadas com as seguintes condições de ciclagem: 95 $^{\circ}\text{C}$ por 4 min, seguidas por 30 ciclos de 95 $^{\circ}\text{C}$ por 30 s, 53 $^{\circ}\text{C}$ por 30 s e 75 $^{\circ}\text{C}$ por 45 s, e uma etapa final a 72 $^{\circ}\text{C}$ por 10 min, adaptado de Durrer et al. (2017) e Pimentel et al. (2019).

Os amplicons de PCR foram digeridos com a enzima de restrição HhaI (10 U / μL) (Thermo Scientific) a 37 $^{\circ}\text{C}$ por 3 h, em um volume final de 20 μl . O material digerido foi, então, precipitado com 2 μL de acetato de Na 3 M, 2 μL de EDTA 125 mM e 50 μl de etanol absoluto, e centrifugado a 4000 rpm por 30 minutos. O DNA precipitado foi lavado com etanol a 70% e seco por centrifugação. O DNA foi suspenso em formamida Hi-Di™ (Applied Biosciences, Foster City, CA) e analisado em um sequenciador automático ABI Prism 3500 (Applied Biosystems, Life Technologies).

2. Análise Estatística

A “área de picos distintos de T-RF”, obtida do T-RFLP, foi usada, na análise, para caracterizar a estrutura do BSC, bem como quaisquer correlações com outras variáveis. Para cada réplica, a estrutura do BSC foi submetida à análise de ordenação, Dimensionamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), ajustado pelo índice de similaridade de Bray-Curtis. O teste One-way ANOSIM (Análise de Similaridade), com o Índice de Bray-Curtis, foi realizado para verificar a significância de quaisquer diferenças entre os grupos NMDS, utilizando o software Past 3 (HAMMER et al., 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de DRX do solo mostram, pela fração argila, que o solo está em estágio avançado de intemperismo e que, para fração areia, não há minerais primários intemperizáveis, já que somente quartzo foi identificado.

Após um mês de experimento, a NMDS mostrou nítida distinção entre a estrutura da comunidade bacteriana de T2-KCl e os demais tratamentos, T1-Controle e pós de rocha (T3 a T6) (Figura 1). O resultado da NMDS é confirmado pela análise de similaridade ANOSIM, Tabela 1, onde somente T2-KCl diferiu estatisticamente dos demais tratamentos ($p < 0.05$).

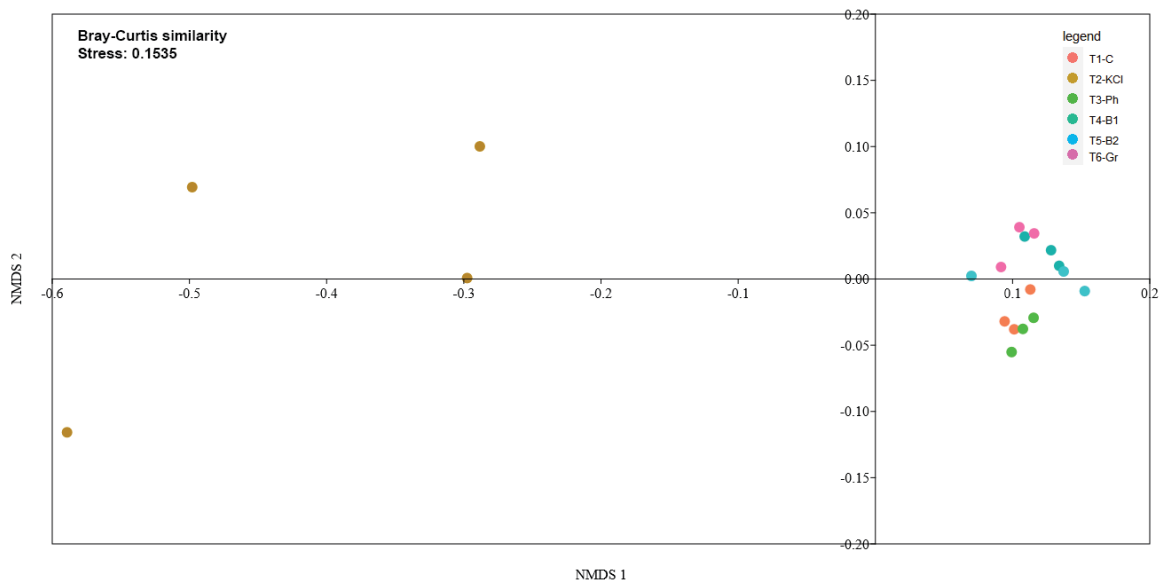


Figura 1. NMDS da comunidade bacteriana, após 1 mês de experimento. As abreviações da legenda “T1-C”, “T2-KCl”, “T3-Ph”, “T4-B1”, “T5-B2” e “T6-Gr” referem-se à T1-Controle, T2-KCl, T3-Fonolito, T4-Basalto1, T5-Basalto2 e T6-Ganito, respectivamente.

Tabela 1. Análise de similaridade, ANOSIM.

Tratamento	p Value - 1 month (1M)				
	T1-C	T2-KCl	T3-P	T4-B1	T5-B2
T1 - Controle	-	-	-	-	-
T2 - KCl	0.03*	-	-	-	-
T3 - Fonolito	0.80	0.03*	-	-	-
T4 - Basalto 1	0.10	0.03*	0.10	-	-
T5 - Basalto 2	0.20	0.03*	0.29	0.60	-
T6 - Granito	0.10	0.03*	0.10	0.40	0.30

*Significativo ($p < 0.05$)

O efeito rápido de fertilizantes solúveis na estruturação da comunidade microbiana do solo é comum e já foi relatado, inclusive, em experimentos de longa duração (BÖHME; LANGER; BÖHME, 2005; CHEN et al., 2015; KUMARI et al., 2017). Allison e Martiny (2008) reportaram que mais de 80% dos estudos com fertilizantes solúveis provocam modificações significativas na comunidade microbiana.

Para este trabalho, a grande solubilidade do T2-KCl, em relação aos demais tratamentos, pode ter influenciado a iônica da solução, devido à natureza iônica de sua fase sólida. Por outro lado, os pós de rocha com predomínio de fases sólidas, com ligações covalentes, possuem solubilidade menor e não causam rápida modificação na comunidade bacteriana do solo.

Estes resultados se referem à primeira avaliação, em um projeto que está avaliando a interação de pós de rocha com a comunidade bacteriana do solo, ao longo do tempo.

CONCLUSÕES

Este experimento mostra que, após um mês da aplicação no solo, pós de rocha diversos, como fonolitos, basaltos e granitos não causaram mudanças significativas na estruturação da comunidade bacteriana do solo, e que a aplicação de KCl, no mesmo período, alterou significativamente a estrutura da comunidade bacteriana.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLISON, S. D.; MARTINY, J. B. H. Resistance, resilience, and redundancy in microbial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 105, n. SUPPL. 1, p. 11512–11519, 12 ago. 2008.
- BARKER, W. W.; BANFIELD, J. F. Zones of Chemical and Physical Interaction at Interfaces Between Microbial Communities and Minerals: A Model. **Geomicrobiology Journal**, v. 15, n. 3, p. 223–244, jul. 1998.

- BASAK, B. B.; BISWAS, D. R. Co-inoculation of potassium solubilizing and nitrogen fixing bacteria on solubilization of waste mica and their effect on growth promotion and nutrient acquisition by a forage crop. **Biology and Fertility of Soils**, v. 46, n. 6, 2010.
- BÖHME, L.; LANGER, U.; BÖHME, F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 109, n. 1–2, p. 141–152, 1 ago. 2005.
- BRINDLEY, G. W., BROWN, G. **Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification**. 1st. ed. London: Mineralogical Society, 1980.
- BRUNDRETT, M. C. Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. **New Phytologist**, v. 154, n. 2, p. 275–304, 1 maio 2002.
- CHEN, P.-Y. **Table of key lines in X-ray Powder Diffraction Patterns of Minerals in Clays and Associated Rocks**. Bloomington, IN: [s.n.].
- CHEN, X. et al. Microbial community and functional diversity associated with different aggregate fractions of a paddy soil fertilized with organic manure and/or NPK fertilizer for 20 years. **Journal of Soils and Sediments**, v. 15, n. 2, p. 292–301, 30 set. 2015.
- DE CAMARGO, O. A. et al. **Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. [s.l.: s.n.].
- DOUMER, M. E. et al. Atividade microbiana e enzimática em solo após a aplicação de xisto retornado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 11, p. 1538–1546, nov. 2011.
- DURRER, A. et al. The drivers underlying biogeographical patterns of bacterial communities in soils under sugarcane cultivation. **Applied Soil Ecology**, v. 110, p. 12–20, 1 fev. 2017.
- FLORENTINO, L. A. et al. Potassium solubilization in phonolite rock by diazotrophic bacteria. **Comunicata Scientiae**, v. 8, n. 1, p. 17, 6 abr. 2017.
- HAMMER, D. A. T. et al. **Past: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data AnalysisPalaeontologia Electronica**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://palaeo-electronica.org>>http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm>. Acesso em: 30 mar. 2020.
- IBGE. Disponível em: <https://censos.ibge.gov.br/agro/2017/templates/censo_agro/resultadosagro/estabelecimentos.html>. Acesso em: 3 ago. 2020.
- KUMARI, A. et al. Impact of next-generation sequencing technology in plant-microbe interaction study. In: **Microbial Applications**. [s.l.] Springer International Publishing, 2017. p. 269–294.
- LAMBERS, H. et al. Plant-microbe-soil interactions in the rhizosphere: an evolutionary perspective. **Plant and Soil**, v. 321, n. 1–2, p. 83–115, 20 ago. 2009.
- LANDEWEERT, R. et al. Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 5, p. 248–254, 1 maio 2001.
- LUPATINI, M. et al. Soil-Borne Bacterial Structure and Diversity Does Not Reflect Community Activity in Pampa Biome. **PLoS ONE**, v. 8, n. 10, p. e76465, 16 out. 2013.
- MANNING, D. A. C. How will minerals feed the world in 2050? **Proceedings of the Geologists' Association**, v. 126, n. 1, p. 14–17, 1 fev. 2015.

- MENDES, L. W. et al. Taxonomical and functional microbial community selection in soybean rhizosphere. **The ISME Journal**, v. 8, n. 8, p. 1577–1587, 20 ago. 2014.
- NEMERGUT, D. R. et al. Microbial community succession in an unvegetated, recently deglaciated soil. **Microbial Ecology**, v. 53, n. 1, p. 110–122, 22 jan. 2007.
- NOVAIS, R. F. DE; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. DE. Ensaio em ambiente controlado. **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**, v. 1, p. 89–253, 1991.
- PIMENTEL, L. G. et al. Soil Bacterial Community Changes in Sugarcane Fields Under Straw Removal in Brazil. **Bioenergy Research**, 1 dez. 2019.
- RESENDE, A. V. et al. Rochas como Fonte de Potássio e outros Nutrientes para Culturas. **Espaço & Geografia**, v. 9, n. 1516–9375, p. 135:161, 2006.
- RODRIGUES, J. L. M. et al. Conversion of the Amazon rainforest to agriculture results in biotic homogenization of soil bacterial communities. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 3, p. 988–993, 15 jan. 2013.
- SEIFFERT, F. et al. Microbial Colonization of Bare Rocks: Laboratory Biofilm Enhances Mineral Weathering. **Procedia Earth and Planetary Science**, v. 10, p. 123–129, 1 jan. 2014.
- SILVA, C. et al. **BIOSSOLUBILIZAÇÃO DE FONOLITO POR MICROORGANISMOS DO SOLO SOLUBILIZADORES DE POTÁSSIO**. [s.l.: s.n.].
- SOUZA, F. N. S. et al. EFEITOS CONDICIONADOR E NUTRICIONAL DE UM REMINERALIZADOR DE SOLOS OBTIDO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 3, 2017.
- TAVARES, L. DE F. et al. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. **International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture**, v. 7, n. 2, p. 89–98, jun. 2018.
- TURNER, S. et al. Microbial Community Dynamics in Soil Depth Profiles Over 120,000 Years of Ecosystem Development. **Frontiers in Microbiology**, v. 8, n. MAY, p. 874, 19 maio 2017.
- VERMA, P. et al. Potassium-Solubilizing Microbes: Diversity, Distribution, and Role in Plant Growth Promotion. In: [s.l.] Springer, Singapore, 2017. p. 125–149.
- WARD, M. B. et al. Investigating the role of microbes in mineral weathering: Nanometre-scale characterisation of the cell–mineral interface using FIB and TEM. **Micron**, v. 47, p. 10–17, 1 abr. 2013.
- ZUMSTEG, A. et al. Microbial community and activity shifts after soil transplantation in a glacier forefield. **Applied Geochemistry**, v. 26, n. SUPPL., p. S326–S329, 1 jun. 2011.

TEMA 5

Experimentação Agronômica

THE AGRICULTURAL USAGE OF SILICATE ROCK DUST: POTENTIAL CO-BENEFITS

PHILIPP SWOBODA¹, MARTIN HAMER², THOMAS DÖRING³

¹ Center for Development Research (ZEF), Genscherallee 3, 53113 Bonn, Germany, s7phswob@uni-bonn.de

² Hochschule Bonn-Rhein-Sieg (HBRS) Grantham-Allee 20, 53757 Sankt Augustin

³ Institute of Crop Science and Resource Conservation (INRES) - Agroecology and Organic Farming Group, Auf dem Hügel 6, 53121 Bonn

Abstract:

There is increasing evidence that silicate rock dust can ameliorate soil properties and increase plant growth. Furthermore, additional co-benefits may arise with the usage of rock dusts. Among these are CO₂ sequestration by the weathering of silicate rocks (“enhanced weathering”) and beneficial effects of silicon (Si) supply such as improved biotic and abiotic stress resistance of plants.

Keywords: agrominerals, enhanced weathering, silicon, plant protection

INTRODUCTION

Ground silicate rocks can be an alternative source for plant potassium (K) (Manning 2010; Madaras et al. 2012; Mohammed et al. 2014), micro and micronutrients (Ramos et al. 2019), and improve soil properties like pH and CEC (Anda et al. 2013; Gillman et al. 2002; Silva et al. 2013), especially for highly weathered soils of the tropics (Leonardos et al. 1987; Manning and Theodoro 2020). However, there are additional potential benefits arising from the use of silicate rock powders. In this work, two are identified and discussed, which are 1) “Enhanced weathering” and 2) the beneficial effects of silicon for plants. Enhanced weathering aims to apply ground silicate rocks to land and thereby sequester CO₂, which is gaining increased attention, especially since CO₂ removal strategies are urgently needed (Hartmann et al. 2013; Beerling et al. 2018). Further, the beneficial role of silicon for plants is rarely addressed within classical agromineral trials, but is increasingly recognized from a plant physiological side (Epstein 1999; Guntzer et al. 2012; Haynes 2014). The literature is limited for both areas but outlines significant agronomic potential, which requires a critical discussion. Therefore, a short literature review was conducted for both potential co-benefits.

ENHANCED WEATHERING

Enhanced weathering aims to sequester CO₂ by applying ground silicate rocks to croplands.

The weathering of silicate minerals is a natural geological process that consumes CO₂ and has regulated the global carbon cycle and the climate over several eons (Hartmann, 2013). In simplified terms, the hydration of CO₂ forms carbonic acid (H₂CO₃), a weak acid that breaks down silicate minerals, thereby releasing base cations (Ca²⁺, Mg²⁺ ...) and producing bicarbonate (HCO₃⁻) and to a lesser extent carbonate (CO₃²⁻) anions, depending on the pH. The CO₂ is thus stored as carbonate ions (HCO₃⁻, CO₃²⁻) that runoff to surface waters and eventually to oceans, thereby increasing alkalinity. Furthermore, the base cations can react with the carbonate anions to precipitate as secondary carbonate minerals, such as CaCO₃ (Hartmann et al. 2013; Beerling et al. 2018).

Although the basic weathering mechanisms of silicate rocks are well understood in laboratory settings, dissolution rates in the field are not. Rocks persistently dissolve several orders of magnitude slower in the field than determined in the laboratory (White and Brantley 2003; Manning 2010). In laboratory weathering calculations, key variables like pH, temperature and surface area are constant, whereas in the soil environment they are dynamic and may exhibit interdependent and attenuated effects e.g. the pH can fluctuate or the reactive surface area may change due to encapsulation in secondary mineral precipitation or cation depleted/silica rich surface layers (Renforth et al. 2015). These uncertainties in dissolution kinetics led to diverging extrapolations concerning the theoretical CO₂ sequestration potential of enhanced weathering (Schuiling and Krijgsman 2006; Hartmann et al. 2013).

In recent years however, some studies directly measured dissolution rates of intentionally added minerals for enhanced weathering (Kelland et al. 2020; Haque et al. 2019). Six trials were found that conducted enhanced weathering experiments (table 1). All authors report increased CO₂ sequestration rates, which however differ by several orders of magnitude. These differences can be explained by differing experimental setups (rock-, plant- and soil type, rock dust application amount...) and differing calculation methods that measured e.g. Mg, Si, pH and dissolved inorganic carbon (DIC) (Amann et al. 2020), direct CO₂ emissions with cation fluxes (ten Berge et al. 2012) or comprehensive plant-soil elemental budget and transport rates (Kelland et al. 2020). Furthermore, some authors report significant yield increases, improvements of soil nutrients and soil pH (Haque et al. 2020; Kelland et al. 2020; Haque et al. 2019).

However, the reported CO₂ sequestration rates cannot be assumed for typical rock dust trials. First, besides (Dietzen et al. 2018), all studies used very high application amounts in the range of 100+ t/ha, which exceeds typical application amounts by one order of magnitude (Bamberg et al. 2017) and questions their practicability. Secondly, all trials besides (Kelland et al. 2020)

used highly soluble silicates like wollastonite or olivine, that exceed the weathering rates of other typically used rocks and minerals like basalts and feldspars by several orders of magnitude (Palandri and Kharaka 2004). Besides this, the use of wollastonite (Haque et al. 2019; Haque et al. 2020) might eventually be restricted due to its relatively high costs, since it is used for other major industrial uses (Haynes et al. 2013), whereas the use of olivine might be limited due to reported releases of the heavy metal nickel (Ni) (ten Berge et al. 2012; Amann et al. 2020). (Kelland et al. 2020) results are therefore important, since the basalts did not release critical amounts of heavy metals and also since the particle size was relatively coarse-grained (80% < 1,25mm), which is similar to sieved unprocessed quarry waste (Hinsinger et al. 1996; Silva et al. 2013), thereby reducing energetic costs for grinding.

Table 1 – overview of enhanced weathering trials

Crop	Rock / Mineral	Rock amount (t/ha)	Soil (pH)	Duration (months)	CO ₂ sequestered (t CO ₂ /ha) ³	Other findings	Author
Wheat, barley	Olivine	220	Loamy sand (6.6)	12	0.023-0.049	low CO ₂ sequestration rates, critical release of Ni	(Amann et al. 2020)
	Olivine	a)10 b)50	Sandy podzol (3.4)	3	a) 3.13 b) 4.16	Increased pH, lime emitted 221% more CO ₂ than olivine	(Dietzen et al. 2018)
Beans and corn	Wollastonite	125	Acidic soil (4.9)	2	39.3	pH and biomass increase, yield: beans > corn	(Haque et al. 2019)
Soybean and alfalfa	Wollastonite	3 - 400	Sandy loam (6.6)	3,5	9,6 ⁴	pH and biomass increase, highest dose decreased yield	(Haque et al. 2019)
Sorghum	Basalt	100	Clay loam (6.6)	12	2.36	Increased yield and plant Si, Ca and Sr concentration	(Kelland et al. 2020)
Ryegrass	Olivine	1.6-204	Sandy soil (4.7)	8	0.29-2.69	Increased soil Mg, Si, K and critical Ni. less Ca uptake.	(tenBerge et al. 2012)

Silicon for biotic and abiotic stress resistance in plants

Although silicon (Si) is considered as a beneficial rather than an essential plant nutrient, its manifold roles and potential benefits for plants are increasingly recognized (van Bockhaven et al. 2013). Several authors report improved plant biotic and abiotic stress resistance in plants (Epstein 1999; Guntzer et al. 2012; Haynes 2014). Silicon induced resistance occurs through two main mechanisms. Firstly, the deposition of Si as solid amorphous silica in cell walls

3. Data from Kelland et al. 2020.

4. 0.08 kg CO₂·m⁻²·month⁻¹

hardens the plant skin and thereby creates a physical barrier that impedes penetration by pathogens and insects. Secondly, Si promotes the biosynthesis of several defense compounds (Epstein 2009; Haynes 2014). Furthermore, seven (sugarcane, rice, wheat, barley, sugar beet, soybeans and tomatoes) out of the ten most important crops (ranked by global production) are Si-accumulators (>1.0% Si on dry matter basis (Tubana et al. 2016), and yield increases have been frequently demonstrated for e.g. rice and sugarcane (Korndörfer and Lepsch 2001). These tropical crops are typically grown on highly weathered soils that have very low Si concentrations, usually containing 5-10 times less Si than temperate soils (Haynes 2014).

The majority of positive effects has been reported for highly soluble Si sources, such as calcium silicates (CaSiO_3), sodium silicates (Na_2SiO_3) and residues of blast furnaces, but also straw (mainly rice straw) (Guntzer et al. 2012; Meena et al. 2014). However, typical agromineral trials mostly do not analyze potential effects of increased Si supply. Firstly, because potential Si benefits were up until recently not recognized and secondly, because less soluble rocks and minerals such as feldspars, basalts and granites are usually used, thereby reducing theoretical Si release. Some studies (Anda et al. 2013; Priyono and Gilkes 2008; Tavares et al. 2018; Kelland et al. 2020) report increased Si supply, although without further analyzing biotic or abiotic plant resistance.

Three studies were found that report improved biotic resistance (Atungwu et al. 2014; Li and Dong 2013; Zuba et al. 2011) with silicate rocks. Atungwu et al. (2014) reports about 82 to 92% reduction of root gall damage for watermelons through crushed rock additions of 2.5 or 5 t/ha, applied to the base of each plant. The reductions are most likely not due to direct Si supply, since more than 90 percent of the rock particles were in the sand fraction, the soil pH (6.78) was nearly neutral and the observation period was very short (60 days), thereby restricting high weathering rates. Furthermore, the elemental content of the rock was almost identical to the soil, only the iron content of the rock powder was 20 times higher (204 vs 11.2 mg/kg in the soil) and the Cu and Mn content of the rock powder was double as the soil. The authors do not provide rock mineralogy or further suggestions for these significant improvements in plant resistance. It is likely that there are unexplored mechanisms at work.

Li and Dong (2013) report increased growth, reduced bacterial wilt infection and improved plant health indicators (chlorophyll content and photosynthetic rate) for tomatoes amended with a rock powder mix plus organic material (quartz, biotite, potassium feldspar, plagioclase, olivine, and rice straw at a ratio 1:3:2:1:1:2). Opposed to Atungwu et al. (2014), the soil iron content was negatively correlated with increased resistance. The authors relate the plant resilience to raised soil pH and a higher macro and micronutrient supply, without measuring Si. In a more recent study (Li et al. 2020), the authors used the same rock dust mixture as in Li and Dong (2013), which was blended with compost and applied to apple trees. Plant resistance to biotic or abiotic stresses was not measured directly, but fruit hardness increased, which likely contributes to an improved physical barrier.

Zuba et al. (2011) analyzed the effects of different fertilizers on tomato growth, quality parameters and disease resistance. Although conventional NPK fertilization lead to the highest yields, a mixture of rock dust and compost significantly reduced Bacterial rot infection and insect attack compared to the conventional fertilization. The rock dust used was phosphate rock plus a granite, whereas the mineralogy of the granite must be questioned, since it contained 35% CaO and only 22% SiO₂, and the remaining bulk chemical composition is not mentioned.

Eventually, foliar application of liquid Si solutions can also induce biotic resistance to plants, as was shown for tomatoes (Olle and Schnug 2016; Yanar et al. 2011), grapes (Bowen et al. 1992) and Cucumber, Muskmelon and Zucchini Squash (Menzie's et al. 1992). Foliar spraying of liquid rock dust solutions are also practiced in German and Austrian agriculture (personal communication with rock dust provider <https://www.biolit-natur.com/>).

CONCLUSIONS

There is positive evidence that the enhanced weathering of silicate rock dust can sequester CO₂ and induce plant growth as well as plant resilience via Si supply, especially for tropical environments. However, the few enhanced weathering trials have mostly used very high application amounts and highly soluble rocks, so the CO₂ sequestration rates cannot be transferred to typical agromineral trials, which generally use lower application amounts and less soluble rocks. For the beneficial effects of plant Si supply the situation is similar, since most of the reported benefits have been achieved with highly soluble Si sources, that exceed the weathering rates of typical agromineral trials. Nevertheless, the outlined benefits bear substantial agronomic and environmental importance, and thus have to be further explored.

REFERENCES

- Amann, Thorben; Hartmann, Jens; Struyf, Eric; Oliveira Garcia, Wagner de; Fischer, Elke K.; Janssens, Ivan et al. (2020): Enhanced Weathering and related element fluxes – a cropland mesocosm approach. In *Biogeosciences* 17 (1), pp. 103–119. DOI: 10.5194/bg-17-103-2020.
- Anda, Markus; Shamshuddin, J.; Fauziah, C. I. (2013): Increasing negative charge and nutrient contents of a highly weathered soil using basalt and rice husk to promote cocoa growth under field conditions. In *Soil and Tillage Research* 132, pp. 1–11. DOI: 10.1016/j.still.2013.04.005.
- Atungwu, Jonathan Jeremiah; Oladeji, Olaide Ayodele; Aiyelaagbe, Isaac; Olabiyi, Timothy Ipoola (2014): Influence of rock dust-based soil re-mineralisation on root-knot disease of organic watermelon plants. In *Archives Of Phytopathology And Plant Protection* 47 (12), pp. 1489–1496. DOI: 10.1080/03235408.2013.848064.
- Bamberg, L. A.; Silveira, C.A.P.; Martins, E. de S.; Bergmann, M.; Martinazzo, R.; Theodoro, Suzi H. (Eds.) (2017): Anasi 3 Congresso Brasileiro de Rochagem. With assistance of Embrapa.

- Beerling, David J.; Leake, Jonathan R.; Long, Stephen P.; Scholes, Julie D.; Ton, Jurriaan; Nelson, Paul N. et al. (2018): Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. In *Nature plants* 4 (3), pp. 138–147. DOI: 10.1038/s41477-018-0108-y.
- Bowen, Pat; Menzies, Jim; Ehret, David; Samuels, Lacey; Glass, Anthony D.M. (1992): Soluble Silicon Sprays Inhibit Powdery Mildew Development on Grape Leaves. In *Journal of the American Society for Horticultural Science* 117 (6), pp. 906–912.
- Dietzen, Christiana; Harrison, Robert; Michelsen-Correa, Stephani (2018): Effectiveness of enhanced mineral weathering as a carbon sequestration tool and alternative to agricultural lime: An incubation experiment. In *International Journal of Greenhouse Gas Control* 74, pp. 251–258. DOI: 10.1016/j.ijggc.2018.05.007.
- Epstein, E. (2009): Silicon: its manifold roles in plants. In *Ann Appl Biol* 155 (2), pp. 155–160. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2009.00343.x.
- Epstein, Emanuel (1999): SILICON. In *Annual review of plant physiology and plant molecular biology* 50, pp. 641–664. DOI: 10.1146/annurev.arplant.50.1.641.
- Gillman, G. P.; Burkett, D. C.; Coventry, R. J. (2002): Amending highly weathered soils with finely ground basalt rock. In *Applied Geochemistry* 17, pp. 987–1001.
- Guntzer, Flore; Keller, Catherine; Meunier, Jean-Dominique (2012): Benefits of plant silicon for crops. A review. In *Agron. Sustain. Dev.* 32 (1), pp. 201–213. DOI: 10.1007/s13593-011-0039-8.
- Haque, Fatima; Santos, Rafael M.; Chiang, Yi Wai (2020): Optimizing Inorganic Carbon Sequestration and Crop Yield With Wollastonite Soil Amendment in a Microplot Study. In *Front. Plant Sci.* 11, p. 103. DOI: 10.3389/fpls.2020.01012.
- Haque, Fatima; Santos, Rafael M.; Dutta, Animesh; Thimmanagari, Mahendra; Chiang, Yi Wai (2019): Co-Benefits of Wollastonite Weathering in Agriculture: CO₂ Sequestration and Promoted Plant Growth. In *ACS omega* 4 (1), pp. 1425–1433. DOI: 10.1021/acsomega.8b02477.
- Hartmann, Jens; West, A. Joshua; Renforth, Phil; Köhler, Peter; De La Rocha, Christina L.; Wolf-Gladrow, Dieter A. et al. (2013): Enhanced chemical weathering as a geoengineering strategy to reduce atmospheric carbon dioxide, supply nutrients, and mitigate ocean acidification. In *Rev. Geophys.* 51 (2), pp. 113–149. DOI: 10.1002/rog.20004.
- Haynes, Richard J. (2014): A contemporary overview of silicon availability in agricultural soils. In *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 177 (6), pp. 831–844. DOI: 10.1002/jpln.201400202.
- Haynes, Richard J.; Belyaeva, O. N.; Kingston, G. (2013): Evaluation of industrial wastes as sources of fertilizer silicon using chemical extractions and plant uptake. In *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 176 (2), pp. 238–248. DOI: 10.1002/jpln.201200372.
- Hinsinger, P.; Bolland, M.D.A.; Gilkes, R. J. (1996): Silicate rock powder: effect on selected chemical properties of a range of soils from Western Australia and on plant growth as assessed in a glasshouse experiment. In *Fertilizer Research* (45), pp. 69–79.
- Kelland, Mike E.; Wade, Peter W.; Lewis, Amy L.; Taylor, Lyla L.; Sarkar, Binoy; Andrews, M. Grace et al. (2020): Increased yield and CO₂ sequestration potential with the C₄ cereal *Sorghum bicolor* cultivated in basaltic rock dust-amended agricultural soil. In *Global change biology* 26 (6), pp. 3658–3676. DOI: 10.1111/gcb.15089.
- Korndörfer, G. H.; Lepsch, I. (2001): Chapter 7 Effect of silicon on plant growth and crop yield. In : *Silicon in Agriculture*, vol. 8: Elsevier (Studies in Plant Science), pp. 133–147.

- Leonardos, O. H.; Fyfe, William S.; Kronberg, B. I. (1987): The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? In *Chemical Geology* (60), pp. 361–370.
- Li, Jiangang; Mavrodi, Dmitri V.; Dong, Yuanhua (2020): Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in an apple orchard from the Jiangsu province of China. In *Archives of Agronomy and Soil Science* 16, pp. 1–14. DOI: 10.1080/03650340.2020.1795136.
- Li, Jian-Gang; Dong, Yuan-Hua (2013): Effect of a rock dust amendment on disease severity of tomato bacterial wilt. In *Antonie van Leeuwenhoek* 103 (1), pp. 11–22. DOI: 10.1007/s10482-012-9781-4.
- Madaras, Mikulá; Mayerová, Markéta; Kulhánek, Martin; Koubová, Magdalena; Faltus, Miloš (2012): Waste silicate minerals as potassium sources. A greenhouse study on spring barley. In *Archives of Agronomy and Soil Science* 59 (5), pp. 671–683. DOI: 10.1080/03650340.2012.667079.
- Manning, David A.C. (2010): Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. In *Agron. Sustain. Dev.* 30 (2), pp. 281–294. DOI: 10.1051/agro/2009023.
- Manning, David A.C.; Theodoro, Suzi Huff (2020): Enabling food security through use of local rocks and minerals. In *The Extractive Industries and Society* 7 (2), pp. 480–487. DOI: 10.1016/j.exis.2018.11.002.
- Meena, V. D.; Dotaniya, M. L.; Coumar, Vassanda; Rajendiran, S.; Ajay; Kundu, S.; Subba Rao, A. (2014): A Case for Silicon Fertilization to Improve Crop Yields in Tropical Soils. In *Proc. Natl. Acad. Sci., India, Sect. B Biol. Sci.* 84 (3), pp. 505–518. DOI: 10.1007/s40011-013-0270-y.
- Menzies, Jim; Bowen, Pat; Ehret, David; Glass, Anthony D.M. (1992): Foliar Applications of Potassium Silicate Reduce Severity of Powdery Mildew on Cucumber, Muskmelon, and Zucchini Squash. In *jashs* 117 (6), pp. 902–905. DOI: 10.21273/jashs.117.6.902.
- Mohammed, S. M. O.; Brandt, K.; Gray, N. D.; White, M. L.; Manning, D. A. C. (2014): Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. In *Eur J Soil Sci* 65 (5), pp. 653–662. DOI: 10.1111/ejss.12172.
- Olle, Margit; Schnug, Ewald (2016): The effect of foliar applied silicic acid on growth and chemical composition of tomato transplants. 554 KB / *Journal für Kulturpflanzen* 68(8) 2016. DOI: 10.5073/JFK.2016.08.04.
- Palandri, James L.; Kharaka, Yousif K. (2004): A COMPILATION OF RATE PARAMETERS OF WATER-MINERAL INTERACTION KINETICS FOR APPLICATION TO GEOCHEMICAL MODELING. U.S. GEOLOGICAL SURVEY, open file report 2004-1068.
- Priyono, J.; Gilkes, R. J. (2008): High-Energy Milling Improves the Effectiveness of Silicate Rock Fertilizers. A Glasshouse Assessment. In *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39 (3-4), pp. 358–369. DOI: 10.1080/00103620701826498.
- Ramos, Claudete Gindri; dos Santos de Medeiros, Diego; Gomez, Leandro; Oliveira, Luis Felipe Silva; Schneider, Ivo André Homrich; Kautzmann, Rubens Muller (2019): Evaluation of Soil Re-mineralizer from By-Product of Volcanic Rock Mining: Experimental Proof Using Black Oats and Maize Crops. In *Nat Resour Res* 56 (1), p. 53. DOI: 10.1007/s11053-019-09529-x.
- Renforth, P.; Pogge von Strandmann, P.A.E.; Henderson, G. M. (2015): The dissolution of olivine added to soil: Implications for enhanced weathering. In *Applied Geochemistry* 61, pp. 109–118. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2015.05.016.
- Schuling, R. D.; Krijgsman, P. (2006): Enhanced Weathering. An Effective and Cheap Tool to Sequester Co2. In *Climatic Change* 74 (1-3), pp. 349–354. DOI: 10.1007/s10584-005-3485-y.

- Silva, Benita; Paradelo, Remigio; Vázquez, Nuria; García-Rodeja, Eduardo; Barral, María Teresa (2013): Effect of the addition of granitic powder to an acidic soil from Galicia (NW Spain) in comparison with lime. In *Environ Earth Sci* 68 (2), pp. 429–437. DOI: 10.1007/s12665-012-1747-3.
- Tavares, Laene de Fátima; Carvalho, André Mundstock Xavier de; Camargo, Luis Gustavo Brogliato; Pereira, Samarina Gabriele de Fátima; Cardoso, Irene Maria (2018): Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering actions. In *Int J Recycl Org Waste Agricult* 7 (2), pp. 89–98. DOI: 10.1007/s40093-018-0194-x.
- tenBerge, Hein F. M.; van der Meer, Hugo G.; Steenhuizen, Johan W.; Goedhart, Paul W.; Knops, Pol; Verhagen, Jan (2012): Olivine Weathering in Soil, and Its Effects on Growth and Nutrient Uptake in Ryegrass (*Lolium perenne* L.): A Pot Experiment. In *PLoS one* 7 (8), e42098. DOI: 10.1371/journal.pone.0042098.
- Tubana, Brenda S.; Babu, Tapasya; Datnoff, Lawrence E. (2016): A Review of Silicon in Soils and Plants and Its Role in US Agriculture. In *Soil Science*, p. 1. DOI: 10.1097/SS.0000000000000179.
- van Bockhaven, Jonas; Vleeschauwer, David de; Höfte, Monica (2013): Towards establishing broad-spectrum disease resistance in plants. Silicon leads the way. In *Journal of experimental botany* 64 (5), pp. 1281–1293. DOI: 10.1093/jxb/ers329.
- van Straaten, Peter (2006): Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. In *Anais da Academia Brasileira de Ciências* (78(4)), pp. 731–747.
- White, Art F.; Brantley, Susan L. (2003): The effect of time on the weathering of silicate minerals: why do weathering rates differ in the laboratory and field? In *Chemical Geology* 202 (3-4), pp. 479–506. DOI: 10.1016/j.chemgeo.2003.03.001.
- Yanar, Yusuf; Yanar, Durdane; Gebologlu, Naif (2011): Control of powdery mildew (*Leveillula taurica*) on tomato by foliar sprays of liquid potassium silicate (K₂SiO₃). In *African Journal of Biotechnology* 10 (16), pp. 3121–3123.
- Zuba, Simone Nassau; Nogueira, Wedson Carlos; Fernandes, Luiz Arnaldo; Sampaio, Reginaldo A.; da Costa, Cândido A. (2011): Yield and nutrition of tomato using different nutrient sources. In *Horticultura Brasileira* 29, pp. 50–56.

EFEITOS DA APLICAÇÃO DE REMINERALIZADOR NA PRODUÇÃO E RENDIMENTO DE ETANOL DE VARIEDADES DE BATATA-DOCE

TATYKELLY ALVES BORGES¹ FRED NEWTON SILVA SOUZA², VALÉRIA
GOMES MOMENTÉ¹, LINDA CLARA FÁTIMA SILVA²

¹ Universidade Federal do Tocantins (UFT) Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Laboratório de Fitoterapia, CEP 77001-090, Tocantins, tatykelly.agronomia@gmail.com; valeria@mail.uft.edu.br.

² Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS), Núcleo de Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho Ambiental (NUDAM), Campus Palmas, CEP 77001-090, Tocantins, fred.ns@unitins.br.

Resumo:

O presente trabalho avaliou os efeitos da aplicação de um remineralizador de solos (REM) na produção e rendimento de etanol de três variedades de batata-doce. O remineralizador obtido da moagem e peneiramento dos resíduos do Garimpo de Esmeraldas de Monte Santo-TO, apresenta, em sua composição, 15,3% de MgO, 9,2% de CaO e 3% de K₂O, e granulometria 86% menor que 50 mesh (0,3 mm). O experimento foi conduzido no Polo de Fruticultura Irrigada São João, no município de Porto Nacional-TO, em um solo com teor 'muito baixo' de potássio (0,03 cmol dm⁻³). O delineamento experimental, com parcelas subdivididas do tipo 'split-plot', foi composto de 03 cultivares de batata-doce (Duda, Amanda e Beatriz), oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos representam diferentes estratégias de uso do remineralizador, em associação e em substituição à fonte convencional de potássio (KCl). Todos os tratamentos receberam duas adubações de cobertura com ureia (60 kg ha⁻¹ N), aos 30 e aos 60 dias após o plantio. A avaliação considerou os efeitos dos tratamentos sobre a produtividade de raízes, produção de matéria seca, percentagem de amido e estimativa de rendimento de etanol. Em relação ao rendimento de etanol, os maiores valores obtidos com a cultivar Beatriz mostram efeitos lineares positivos, em resposta ao aumento da dose do remineralizador, atingindo 5,06 m³ ha⁻¹.

Palavras-chave: remineralizador de solo; produção de etanol; batata-doce.

INTRODUÇÃO

A poluição causada por lançamento de gases resultantes da queima de combustíveis fósseis provoca efeitos danosos na saúde humana, na economia e ao ambiente (MICHEL et al., 2002).

Com a preocupação de reduzir estes efeitos, vários estudos buscam fontes de energia limpa como alternativa aos combustíveis derivados do petróleo. Os combustíveis renováveis, produzidos a partir da biomassa, entre eles os biocombustíveis, tais como o etanol, são parte dessas fontes que podem diminuir o uso de gasolina e óleo diesel (ARREDONDO, 2009).

Como fonte alternativa de bioenergia, a batata-doce apresenta produção expressiva de biomassa para obtenção de álcool combustível. O álcool de batata-doce é competitivo e seu rendimento pode variar de 130 a 170 litros por tonelada, além de possibilitar duas safras anuais, enquanto a cana-de-açúcar rende 80 litros por tonelada (SILVEIRA, 2008).

Portanto, é desejável explorar as características que possam prever a potencialidade produtiva desta cultura. Neste contexto, o potássio torna-se um insumo importante frente aos estudos sobre a sua influência na síntese de amido e carboidratos em raízes, viabilizando a batata-doce como uma fonte de bioenergia no processo de conversão do açúcar a etanol.

As fontes convencionais de potássio (KCl ou K_2SO_4) são bastante móveis no solo (MIRANDA et al., 1987), o que gera riscos de toxidez das plantas e de contaminação dos solos e da água, baixa eficiência agrônômica e altos custos. Em contrapartida, os remineralizadores de solo são fontes alternativas de nutrientes, especialmente de K, além de promover alterações nas propriedades físico-químicas dos solos, com efeitos importantes na redução do alumínio trocável e no aumento da capacidade de troca catiônica (SOUZA, 2014).

Neste trabalho, foram avaliados os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de potássio, na produção e rendimento de etanol de variedades de batata-doce.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Projeto Polo de Fruticultura Irrigada São João, no município de Porto Nacional-TO, localizado geograficamente nas coordenadas 10°10' de LS e 48°21' de LW, a 220m de altitude. A área experimental apresenta um Neossolo Quartzareno típico de Cerrado, cujas características físico-químicas são resumidas, na Tabela 1, após a aplicação e incorporação de 2,4 t de calcário dolomítico.

Tabela 1: Características físico-químicas do solo.

Ph	P	K	Al	Ca+MG	Ca ⁺⁺	H+Al	MO	CTC
H ₂ O	mg/dm ³ cmol/dm ³		 m.e./100cc			%	cmol
6,1	3,59	0,03	0,0	3,67	0,55	2,8	1,76	3,53

O remineralizador de solo (biotita-xisto) é proveniente dos resíduos do Garimpo de Esmeraldas, de Monte Santo-TO, que moído e peneirado apresenta granulometria 86% menor que 50 mesh

(0,3 mm) e soma de bases > 27% (15,3% de MgO; 9,2% de CaO; 3% de K₂O). As análises da composição geoquímica do Remineralizador foram realizadas no Acme Analytical Laboratories Ltd, para os elementos maiores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Teores dos elementos maiores totais no agromineral (% em massa).

Amostra	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	PF ¹	C ²	S ³	Soma ⁴
REM	50,9	13,0	8,6	15,3	9,2	3,0	3	0,1	0,2	3,2	0,5	0,1	99,7

¹ PF – perda ao fogo, relativo ao teor total de voláteis (CO₂ + SO₃ + H₂O); ²C – carbono total e ³S – enxofre total medido pelo Leco; ⁴Soma relativa aos óxidos e à PF.

O delineamento experimental, com parcelas subdivididas do tipo ‘split-plot’, foi composto de 03 variedades de batata-doce (Duda, Amanda e Beatriz), oito tratamentos e três repetições. Os tratamentos representam estratégias de uso do remineralizador em associação e em substituição à fonte convencional de potássio, o KCl (Tabela 3): (1) Test-absolut com adubação convencional, recomendada para cultura da batata-doce (90 kg ha⁻¹ K₂O); (2, 3, 4) uso da mesma dose de adubação convencional, associada às doses crescentes do remineralizador, sendo REM I, meia dose (45 kg ha⁻¹ K₂O), REM II, dose (90 kg ha⁻¹ K₂O) e REM III, dobro da dose recomendada para a cultura (180 kg ha⁻¹ K₂O); (5, 6, 7) aplicação apenas do remineralizador em doses crescentes (45, 90 e 180 kg ha⁻¹ K₂O); e (8) o uso do KCl e o remineralizador na dose recomendada (45 + 45 Kg ha⁻¹ de K₂O), sem adição de fósforo.

Todos os tratamentos (exceto o 8) receberam adubação de fósforo (180 kg ha⁻¹ P₂O₅), na forma de superfosfato simples, e duas adubações de cobertura com ureia (60 kg ha⁻¹ N), aos 30 e aos 60 dias após o plantio. A recomendação de adubação foi realizada de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Embrapa (1995).

Tabela 3: Descrição dos tratamentos que compõem o experimento.

Tratamentos	Fonte de K	Outros*
1. Test-Controle Positivo	KCl	+
2. KCl + REMI	KCL e Remineralizador	+
3. KCl + REMII	KCL e Remineralizador	+
4. KCl + REMIII	KCL e Remineralizador	+
5. REMI	Remineralizador	+
6. REMII	Remineralizador	+
7. REMIII	Remineralizador	+
8. KCl + REMII*	KCL e Remineralizador	-

REM (Remineralizador); KCl (Cloreto de Potássio); Outros: Superfosfato Simples (180 kg ha⁻¹ P₂O₅).

A área foi preparada com uma aração e uma gradagem, 30 dias antes do plantio. As leiras construídas com espaçamentos de 1 m e aproximadamente 0,30 m de altura. Cada parcela/tratamento foi composta por 5 leiras de 7 m de comprimento, de maneira que cada bloco teve área de 280 m² e o experimento área total de 840 m².

No final do ciclo da cultura, entre os meses de maio e junho, foi necessária a utilização de irrigação via aspersão, para suprir as necessidades hídricas da cultura. Os tratos culturais envolveram apenas capina manual para eliminar as plantas daninhas, antes das adubações de cobertura.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados a partir da produção de raízes, do teor de matéria seca, do teor de amido e do rendimento de etanol. A produção de raízes foi inferida ao final do ciclo da cultura, 180 dias após o plantio, a partir da pesagem da produção total de raízes tuberosas, em cada uma das três linhas centrais da parcela/tratamento, e a média convertida em toneladas por hectare (t ha⁻¹).

O teor da matéria seca foi determinado conforme a metodologia da ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC 1995). O teor de amido foi quantificado em triplicatas, com o uso de um espectrômetro infravermelho, NIR 900 PLS, marca FEMTO, e as leituras feitas no software FemWin 900. Os resultados obtidos em base seca (b.s.) foram convertidos para Amido em Base Úmida (b.u) pela equação a seguir:

$$\text{Amido (b.u.) \%} = \text{Teor de matéria seca (\%)} \times \text{Amido (b.s.)}$$

A estimativa do rendimento de etanol foi realizada com base nos resultados da produtividade, % de matéria seca, e do teor de amido, obtidos anteriormente, para cada tratamento, conforme metodologia descrita em CEREDA (2001) e adaptada por MACHADO & ABREU (2007), onde uma tonelada de carboidrato resulta em 718,9 a 730 litros de etanol.

Todos os resultados foram analisados estatisticamente pelo modelo Scott e Knott ($p < 0,05$), com o auxílio do software SISVAR.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística de variância e teste de médias, e demonstraram diferença significativa entre as variedades em resposta aos tratamentos, e, também, na interação variedades x tratamentos avaliados. Os coeficientes de variação foram baixos para as avaliações de matéria seca e teor de amido, e um pouco mais elevados para produtividade e rendimento de etanol, mas todos dentro dos limites aceitáveis.

A produtividade média (t ha⁻¹) de raízes das variedades em resposta aos tratamentos são apresentados na Tabela 4, onde se observam efeitos positivos dos tratamentos, especialmente

daqueles que representam a estratégia de substituição da fonte convencional de K (cloreto de potássio) pelo remineralizador de solo (biotita-xisto).

Nota-se, também, efeito positivo em função do aumento da dose do remineralizador, com destaque para a variedade Beatriz (43,7 t ha⁻¹), seguida da Amanda (31,5 t ha⁻¹) e Duda (28,1 t ha⁻¹). Santos et al. (2014), também obtiveram resposta linear da produção e produtividade de raízes de batata ao aumento das doses de pó de rocha.

Os resultados de produtividade de raiz, em resposta ao remineralizador (90 kg ha⁻¹ de K), são semelhantes ou superiores aos obtidos em outros estudos (Massaroto, 2008; Câmara, 2009; Figueredo, 2010).

Tabela 4: Produtividade média (t ha⁻¹) de raízes resultantes dos tratamentos avaliados.

Tratamentos	DUDA	AMANDA	BEATRIZ
1. Test-absolut	11,0 cA	5,2 dA	7,3 dA
2. KCl + REM I	27,3 aA	18,2 bB	8,8 dC
3. KCl + REM II	19,2 bA	19,9 bB	11,1 dB
4. KCl + REM III	15,9 bA	14,9 cB	16,7 cA
5. REM I	15,9 bB	27,6 aA	26,4 bA
6. REM II	28,1 aB	31,5 aB	39,9 aA
7. REM III	28,2 aB	20,6 bC	43,7 aA
8. KCl + REM II	12,4 bC	19,8 bB	23,8 bA
Média	19,8B	18,7B	22,2A

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pertence ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott e Knott ($p < 0,05$)

Na estratégia de associação das fontes (cloreto e remineralizador), a resposta produtiva da variedade Duda ao aumento da dose de K foi decrescente e linear. Esse resultado sugere a necessidade de melhor avaliar os reais efeitos da interação solo-planta no uso dessas fontes.

Ao analisar o teor de matéria seca, os resultados demonstraram efeitos significativos dos tratamentos, com destaque para a resposta da variedade Amanda (45,9%) ao tratamento que envolve cloreto de potássio (90 Kg ha⁻¹ de K) e remineralizador de solo (45 Kg ha⁻¹ de K).

O incremento dos teores de matéria seca nas raízes de batata doce, em resposta ao aumento da dose de K, também foram verificados por Silveira et al. (2014), que utilizando as mesmas variedades e a dose recomendada de K (90 kg ha⁻¹), obtiveram na cultivar Duda 40,4% de MS, Amanda 32,35% de MS e Beatriz 28,56%. No presente trabalho, os teores de matéria seca dessas mesmas variedades foram superiores aos de Silveira et al. (2014), em todos os tratamentos envolvendo a associação do KCL e o remineralizador.

Importante destacar que não foram registradas diferenças significativas no teor de matéria seca entre as variedades avaliadas, apenas nos tratamentos testemunha (Test-Absolut) e remineralizador, dose recomendada (REM II).

O teor de amido (%) na raiz das plantas também teve efeito nos tratamentos avaliados. Os resultados demonstraram que o teor de amido (base úmida) variou de 15,1 a 24,4% e, assim como observado nos resultados de teor de matéria seca, a variedade Duda apresentou o maior teor de amido (24,4%) em resposta ao tratamento (KCl + REM I), que envolve a associação do KCl (90 kg ha⁻¹ de K) e o remineralizador (45 kg ha⁻¹ de K).

O incremento no teor de amido, das variedades em resposta ao aumento das doses de potássio, encontra explicação no fato do potássio atuar na formação e translocação de carboidratos e, conseqüentemente, em maior acúmulo e concentração de amido nas raízes. Se por um lado os resultados obtidos no presente estudo são inferiores aos encontrados por Srichuwong et al. (2012), em clones de batata-doce produzidos no Japão, por outro lado são muito semelhantes aos relatados por Silveira et al. (2008) e Santana et al. (2014), cujos estudos envolveram as mesmas variedades e condições climáticas regionais análogas.

Os efeitos dos tratamentos sobre a produtividade de raiz (t ha⁻¹) e teor de amido (%) são evidenciados no rendimento de etanol (m³ ha⁻¹). Na Tabela 5, observa-se que a cultivar Beatriz apresentou melhor rendimento de etanol (5,06 m³ ha⁻¹), seguida da cultivar Duda (4,83 m³ ha⁻¹) e Amanda (3,71 m³ ha⁻¹).

Os resultados obtidos são semelhantes àqueles encontrados na literatura, a exemplo de Silva et al. (2016), que seguindo as recomendações de adubação para a cultura da batata-doce, de acordo com os parâmetros estabelecidos em Silveira et al. (2008), obtiveram rendimento de etanol de 8,46 e 3,56 m³ ha⁻¹. Jim et al. (2012) selecionaram variedades de batata-doce na China, com rendimento de etanol de 4,17 m³ ha⁻¹, enquanto Ziska et al. (2009) relataram potencial promissor da cultura da batata-doce para produção de etanol (8,84 m³ ha⁻¹), frente à cana-de-açúcar (6,19 m³ ha⁻¹).

Tabela 5: Rendimento médio de etanol (m³ ha⁻¹) resultante dos tratamentos avaliados.

Tratamentos	DUDA	AMANDA	BEATRIZ
1. Test-absolut	1.76d	0,64d	1,12c
2. KCl + REM I	4.83a	2,00c	1,17c
3. KCl + REM II	3.11b	1,38c	1,30c
4. KCl + REM III	2.23c	2,37b	2,44b
5. REM I	2.36c	3,31a	3,67b
6. REM II	3.71a	3,71a	4,75a
7. REM III	4.13a	2,77b	5,06a
8. KCl + REM II*	2.1c	2,70b	2,92b
Médias	3,03A	2,36B	2,80A

As médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha, pertence ao mesmo grupo estatístico, pelo teste Scott e Knott ($p < 0,05$)

Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a cultivar Beatriz respondeu melhor aos efeitos do remineralizador, quando aplicado em substituição à fonte convencional de potássio (KCl), enquanto que na cultivar Duda os efeitos da substituição e associação das fontes de K não foram diferentes. De maneira geral, os efeitos da estratégia de substituição do KCl pelo remineralizador mostraram-se eficientes, o que demonstra o efeito do remineralizador como fonte de K para a cultura da batata doce.

CONCLUSÕES

O remineralizador de solo (biotita-xisto) representa importante fonte alternativa de K para a cultura da batata doce, com efeitos positivos sobre a produção de raiz e rendimento de etanol.

A estratégia de associação do remineralizador, com a fonte convencional de K, teve efeito positivo sobre o teor de matéria seca e amido das raízes de batata doce.

A cultivar Beatriz apresentou melhor resposta aos efeitos do aumento da dose do remineralizador, em substituição a fonte convencional de K.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARREDONDO, H.I.V. Avaliação exergética e exergo-ambiental da produção de biocombustíveis. 2009. Tese (Doutorado da Escola Politécnica) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.
- CÂMARA, F. A. A. Crescimento e desempenho agrônômico de batata-doce oriundas de ramas produzidas de forma convencional e in vitro. 2009. 82f. Tese (Doutorado em Fitotecnia: Agricultura Tropical) - Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), Mossoró-RN, 2009.
- CEREDA, M.P.; FRANCO, C.M.L.; DAIUTO, E.R.; DEMIATE, J.M.; CARVALHO, L.J.C.B.; LEONEL, M.; VILPOUX, D.F.; SARMENTO, S.B.S. Propriedades gerais do amido. Campinas, Fundação Cargill, 2001.
- FIGUEIREDO, J. A. Seleção de Clones de Batata-Doce com Potencial de Utilização na Alimentação Humana e Animal. 2010 (Dissertação de mestrado). Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2010.
- JIN, Y.; FANG, Y.; ZHANG, G.; ZHOU, L.; ZHAO, H. Comparison of ethanol production performance in 10 varieties of sweet potato at different growth stages. *Acta Oecologica* 44 (2012) 33 e 37.
- MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. e. Álcool combustível a partir da batata. *Batata Show*, Itapetinga, v. 7, n. 18, p. 34-36, ago. 2007.
- MASSAROTO, J. A.; Características agrônômicas e produção de silagem de clones de batata-doce. Tese (Doutorado). Lavras, 2008. 85p.

- MICHEL, J., HENRY JR., C.B. & THUMM, S. 2002. Shoreline assessment and environmental impacts from the M/T Westchester oil spill in the Mississippi River. *Spill Sci. & Tech. Bulletin* 7(3/4): 155-161.
- MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. Cultivo de batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam). Brasília, DF, EMBRAPA-CNPq, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPq. Instruções Técnicas, 7).
- SANTANA, W. R.; SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; GOUVÊA, G. R. S. R.; FRANÇA, R. G.; NASCIMENTO, I. R.; MOMENTÉ, V. G.; SANTOS, W.F. Avaliação do teor de amido em genótipos de batata-doce destinados a indústria de etanol em Palmas-TO. *Hort. Bras.*, 31: S2063 –S2070. 2014.
- SANTOS, J. F.; SILVA, E. D.; BESERRA, A. C. Produção agroecológica de batata em relação à dose de pó de rocha. *João Pessoa: Tecnol. & Ciênc. Agrop.*, mar. 2014, v. 8, p.29-35.
- SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da Batata-doce. In: Marney Pascoli Cereda. (Org.). *Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, 2002, v. 4, p. 448-504.
- SILVEIRA M. A. 2008. Batata-doce: uma nova alternativa para a produção de etanol. In: INSTITUTO EUVALDO LODI. *Álcool combustível*. Brasília: Núcleo Central. 1: 109-122.
- SILVEIRA, M. A. et al. A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para o etanol. *Boletim Técnico UFT. Palmas - TO*. 2014.
- SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E.; ALVIM, T. C.; TAVARES, I. B.; SANTANA, W. R.; SOUZA, F.R. A cultura da batata-doce como fonte de matéria-prima para o etanol. *Boletim Técnico UFT. Palmas - TO*, 2008. 64 p.
- SOUZA, F.N.S. O potencial de Agrominerais silicáticos como fonte de nutrientes na agricultura tropical. 2014. 94 p. Tese (Doutorado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SRICHUWONG, S.; ORIKASA, T.; MATSUKI, J.; SHIINA, T.; KOBAYASHI, T.; TOKUYASU, K. Sweet potato having a low temperature-gelatinizing starch as a promising feedstock for bioethanol production. *Biomass. Bioenerg.*, v. 39, p. 120 e 127, 2012.
- ZISKA, L. H.; RUNION, G. B.; TOMECEK, M.; PRIOR, S. A.; TORBET, H. A.; An evaluation of cassava, sweet potato and field corn as potential carbohydrate sources for bioethanol production in Alabama and Maryland – *Biomass. Bioenerg.*, 33 (2009) 1503 – 1508 USA, 2009.

POLVO DE BASALTO Y MICROORGANISMOS EN EL CULTIVO DE CAUPÍ, SU MICORRIZACIÓN ESPONTÁNEA Y LA ACTIVIDAD BIOLÓGICA DEL SUELO

AMALIA MARIA EUGENIA ROMERO¹; MARCELA ROSA COSSOLI¹; MARÍA CÁNDIDA IGLESIAS¹

¹ Cátedra de Microbiología Agrícola-Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste- Sargento Cabral 2131 CP 3400, Corrientes, Argentina. amaromero86@hotmail.com

Abstract:

El objetivo fue evaluar el efecto del polvo de basalto y microorganismos sobre caupí, su micorrización y actividad biológica del suelo. Se realizó un ensayo con el uso de microorganismos en 4 niveles, *Pseudomonas fluorescens* (Ps), *Bradyrhizobium japonicum* (Br), *Azotobacter sp* (Az) y sin microorganismo (Co) y, polvo de basalto en dos niveles, con basalto (cb - 5 tn.ha⁻¹) y sin basalto (sb); conformando 8 tratamientos con 3 repeticiones distribuidos en parcelas de 6 m². Se determinó peso seco de vástago (kg.ha⁻¹), micorrización (% total, hifas, vesículas y arbusculos) y actividad biológica del suelo (mg CO₂.100gsuelo.día⁻¹). Se realizó ANAVA factorial y comparación de medias por Tukey (p≤0,05). Se obtuvo un peso seco de 3500 a 4500 kg.ha⁻¹, levemente superior en los tratamientos con basalto y microorganismos. En el análisis por factor, los inoculantes siguieron la tendencia Br>Az>Ps>Co, y el basalto fue cb>sb. La micorrización total, presencia de hifas, arbusculos y la actividad biológica del suelo no variaron significativamente. El porcentaje de vesículas fue estadísticamente superior en Co*sb respecto a Ps*cb, Br*sb y Az*sb. El uso de polvo de basalto tuvo un mejor comportamiento combinado con microorganismos, incrementando en algunos casos el resultado respecto al uso único de inoculantes microbianos.

Keywords: microorganismos; basalto; caupí

INTRODUCTION

En Argentina, el creciente número de productores dedicados a la producción orgánica y agroecológica ha expandido la superficie destinada a la misma, sosteniendo esta tendencia creciente durante los años anteriores. Esto lleva al estudio de alternativas que permitan recuperar o mejorar el nivel de nutrientes disponibles en el suelo. Una práctica no muy difundida en el país es el uso de polvos de basalto como agente remineralizante del suelo. En la formación

basáltica Serra General, ubicada en la región mesopotámica argentina, con potentes derrames basálticos, se encuentran canteras como productoras de agregados (Madsen et al., 2018), produciendo un polvo como residuo factible de ser utilizado como agromineral; teniendo en cuenta que por su composición en minerales no disponibles directamente para las plantas deben someterse a procesos de meteorización (Strateen, 2002). Por lo cual es necesario adoptar prácticas de manejo del suelo para mejorar la capacidad solubilizadora de los organismos del suelo o incluir microorganismos con potencial mineralizante.

El poroto caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp.) es una leguminosa muy cultivada por los agricultores familiares del nordeste argentino. Su grano, maduro o inmaduro, es utilizado como alimento humano; el forraje verde en la alimentación de animales domésticos y como abono verde o cultivo de servicio. Se han encontrado resultados satisfactorios en los cultivos de leguminosas con polvo de basalto; Crusciol y Soratto (2013) evaluaron la efectividad de fonolito molido en un latosol rojo distroférico como fuente de potasio y silicio, encontrando mejor nutrición del cultivo en cuanto al contenido de estos nutrientes, y un aumento en la productividad del grano en comparación con el tratamiento control. Otros estudios se han referido a las ventajas del polvo de rocas en el suelo, como Theodoro y Leonardos (2006) que encontraron un aumento en los niveles de pH y Ca, Mg, P y K después del primer año de evaluación del potencial de una roca volcánica sobre un suelo arenoso. Así también Silva et al. (2012) concluyeron en su trabajo que el uso combinado de rocas y microorganismos resulta de interés, ya que el tenor de nutrientes en solución en presencia de polvo de basalto tuvo una tendencia creciente en aquellos tratamientos con inoculación de microorganismos en adición al microbiota del suelo. La medida de la actividad microbiana permite detectar los efectos que pueden tener diferentes tratamientos como así también el aporte de CO₂, compuesto importante en la mineralización de nutrientes por la formación de ácidos. En este sentido, los hongos micorrícicos arbusculares pueden desempeñar un papel importante en la disponibilidad de nutrientes de las rocas; por la producción de ácidos orgánicos y la liberación significativa de CO₂ durante la respiración fúngica (Johnson et al., 2002). El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto del polvo de basalto junto a la utilización de microorganismos sobre la producción de caupí, su micorrización y la actividad biológica global del suelo.

MATERIALS AND METHODS

El ensayo se realizó en un lote ubicado en la localidad de Santa Ana de los Guácaras, Provincia de Corrientes (Latitud 27.464824, Longitud 58.658182). El suelo se corresponde a la Serie Ensenada Grande, entisoles de baja fertilidad y baja retención de agua (Tabla 1).

El diseño experimental se correspondió a un arreglo factorial distribuido en bloques completos al azar (DBCA). El factor Inoculante tuvo 4 niveles, *Pseudomonas fluorescens* (Ps) con un título

de 1×10^9 UFC.ml⁻¹ y *Bradyrhizobium japonicum* (Br) con un título de 1×10^{10} UFC.ml⁻¹ (dos productos comerciales pertenecientes a la empresa Rizobacter S.A.), un aislamiento *Azotobacter* sp. (Az) obtenido en la Cátedra de Microbiología Agrícola con un título de 9.8×10^8 UFC.ml⁻¹, y sin microorganismo (Co). El factor Basalto tuvo 2 niveles, con basalto (cb) y sin basalto (sb). La combinación de ambos factores y sus niveles resultan en 8 tratamientos con 3 repeticiones distribuidas en 24 parcelas.

El polvo de basalto utilizado es un residuo de la extracción y procesamiento de la roca de basalto de una cantera ubicada en Curuzú Cuatiá (Ruta N° 119 Km 43300), provincia de Corrientes (Tabla 2), clasificada como cantera de bajo contenido de óxido de titanio según Madsen et al. (2018). La granulometría del polvo de basalto fue <0.5 mm; se aplicó espolvoreando sobre la superficie e incorporando posteriormente con la ayuda de un rastrillo en una dosis equivalente a 5 tn.ha⁻¹ (3 kg.parcela⁻¹).

Tabla 1. Características químicas y clase textural del suelo utilizado en los experimentos*

pH	P	K	Ca	Mg	Corg	N total	Textura
	ppm	-----Cmol.Kg ⁻¹ -----			-----%-----		
5.9	11.2	0.2	2.9	1.1	0.39	0.04	Arenosa**

* Análisis realizado en el Instituto Agrotécnico Pedro M. Fuentes Godo, FCA-UNNE. Métodos utilizados: para pH: potenciométrico, relación suelo:agua 1:2,5; para Carbono Orgánico: Walkley-Black; para P: Bray Kurtz I; para Ca, Mg: complejometría con EDTA; y K: fotometría de llama.**85% de arena; 15% de limo y 0% de arcilla.

El material vegetal fue *Vigna unguiculata* (caupí colorado) y la inoculación de los microorganismos se realizó sobre la semilla el día de la siembra, aplicando 5 ml de cada inoculante por cada 80 g de semilla y se dejó orear para su posterior siembra. Las semillas utilizadas como control se humedecieron con agua de canilla. Se delimitaron 24 parcelas de 3x2 metros cada una, con calles de 1 metro dentro del bloque y 1.5 metros entre bloques. Los tratamientos se dispusieron al azar en cada bloque. Para la siembra se marcaron 5 líneas por parcela distanciados a 0.7 m, sembrando una semilla cada 0.10m. A los 30 días pos-siembra se realizó el raleo de plantas dejando una distancia de 0.30 m entre plantas, se realizó el seguimiento del cultivo respecto a presencia de plagas y enfermedades, y limpieza manual de malezas en las parcelas.

Tabla 2. Análisis de macro y micro-elementos total del polvo de basalto*

N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Mn	Zn
	-----%-----			-----ppm-----				
0.02	0.18	0.06	1.05	0.1	37600	140	130	30

*Análisis de contenido total realizado en el Centro Tecnológico de Producción (CETEPRO), provincia de Corrientes. K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn por absorción atómica. P por el método de Murphy y Riley. N en digestión ácida.

A los 60 días después de la siembra se realizó la extracción de plantas en el estado de floración inicio de fructificación (R2-R3). Se tomaron dos líneas centrales, sacando planta entera de las cuales se obtuvieron las raíces más finas para su tinción (Phillips y Hayman, 1978) y posterior observación de micorrizas en el microscopio en un aumento de 40X (Leica DMZ), para ello se tomaron de las muestras teñidas con azul de tripán, 10 segmentos de raíces de aproximadamente 1 cm, los cuales fueron observados en 50 puntos obteniendo el porcentaje de micorrización total, arbuscúlos, vesículas e hifas. Mediante el secado en estufa a 60°C hasta peso constante se obtuvo el peso seco de vástago por planta y el resultado fue interpolado para obtener el peso de biomasa por hectárea. Además, se tomó una muestra de suelo por parcela para la determinación de la actividad biológica global mediante la captación de CO₂ en una solución alcalina obteniendo los mg CO₂.100g suelo.día⁻¹ (Öhlinger, 1996). Con los datos obtenidos se realizó un Análisis de la Varianza (ANAVA) factorial y un análisis de comparación de medias (Test de Tukey, $p \leq 0,05$). Se empleó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2017). Las variables referidas a micorrización fueron transformadas mediante la función $x = \sqrt{x}$.

RESULTS AND DISCUSSION

En la variable Biomasa seca vástago (kg.ha⁻¹) los factores analizados no causaron efectos significativos en la producción de biomasa seca de vástago (Tabla 3) el comportamiento de los microorganismos siguió una tendencia Br>Az>Ps>Co; y para el factor basalto, la diferencia entre el uso y no del mismo fue mínima.

Tabla 3. Resumen del ANAVA (p-valores) y nivel de significancia para la variable biomasa de vástago.

Fuente de Variación	BV
Inoculación	0.6892 ^{ns}
Basalto	0.7421 ^{ns}
Inoc.*Bas.	0.6622 ^{ns}

BV: biomasa seca de vástago *($p \leq 0,05$); ns: no significativo.

La cantidad de materia seca a los 60 días post siembra se distribuyó entre 3500-4500 kg.ha⁻¹ (Tabla 4), aproximadamente el doble a lo obtenido por Gonzalez Aguiar et al. (2018) a los 115 días post siembra de un monocultivo de caupí en un suelo Nitossolo brumo de color amarillento y arcilloso de Brasil con un espaciamiento entre plantas menor (0.10 cm). Según Peters et al. (2010) el caupí dependiendo de los suelos y clima puede dar entre 3000-8000 kgMS.ha⁻¹ en un período de 2-4 meses. Shindoi et al. (2012) obtuvieron en promedio una producción de 7600 kg.ha⁻¹ en biomasa seca de caupí en un suelo argiudol de la Región Chaqueña argentina.

Tabla 4. Comparación de medias por tratamientos para la variable producción de biomasa seca en vástago de caupí, expresada en kg.ha⁻¹*

Tratamientos	Biomasa seca aérea	
	Kg.ha ⁻¹	
Az*sb	4013.30	A
Az*cb	4165.73	A
Ps*sb	3898.17	A
Ps*cb	3863.93	A
Br*sb	3839.03	A
Br*cb	4448.83	A
Co*sb	3901.27	A
Co*cb	3540.37	A
CV	24.68	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Con respecto a la variable micorrización, en la Tabla 5 se visualizan los niveles de significancia para los diferentes parámetros medidos, donde el factor Inoculación mostró una diferencia significativa del nivel Sin microorganismo (Co) respecto a *Pseudomonas* (Ps). La combinación de Microorganismos con Basalto presentó en la micorrización total (MT) porcentajes levemente superiores a los tratamientos con microorganismos en ausencia de basalto (tabla 6). En cuanto a la presencia de hifas (H), al igual que micorrización total, los tratamientos con basalto superaron levemente a los tratamientos sin basalto, exceptuando a la combinación con *Azotobacter*, el cual presentó mayor presencia de hifas en ausencia de basalto. Winnie (2016) trabajando sobre el efecto residual del polvo de roca de basalto encontró valores de micorrización total similares a los hallados en este trabajo en un cultivo de *Phaseolus vulgaris* con aplicación de fertilizantes, fuentes fosfato y polvo de roca de basalto (dosis equivalente a 300 tn.ha⁻¹); aunque el autor obtuvo un valor superior en el tratamiento con basalto versus el tratamiento control. El porcentaje de arbusculos (A) fue bajo en todos los tratamientos, con valores entre 0 y 4%; lo que puede deberse al menor tiempo de actividad que esta estructura posee, aproximadamente de dos semanas, para después colapsar y ser absorbido por la célula vegetal. Además, el porcentaje de arbusculos fue la variable con el más alto coeficiente de variación. En cuanto al contenido promedio de vesículas (V) por planta, las estructuras de reserva en los hongos micorrizicos, mostró al tratamiento Co*sb con el valor más alto, diferenciándose estadísticamente de Az*sb, Br*sb y Ps*cb.

Tabla 5. Resumen del ANAVA (p-valores) y nivel de significancia para micorrización

Fuente de Variación	MT	H	A	V
Inoculación	0.9658 ^{ns}	0.1107 ^{ns}	0.3786 ^{ns}	0.0553*
Basalto	0.5729 ^{ns}	0.2706 ^{ns}	0.3626 ^{ns}	0.8061 ^{ns}
Inoc.*Bas.	0.3934 ^{ns}	0.7703 ^{ns}	0.8163 ^{ns}	0.0073*

*($p \leq 0,05$); ns: no significativo. MT: micorrización total, H: hifas, A: arbusculos, V: vesículas

Para la variable actividad biológica global el uso de polvo de basalto sin microorganismos fue el de menor actividad (tabla 7), en cambio con el agregado de microorganismos se incremento notablemente la producción de CO₂ comparado tanto al uso solo de basalto como a aquellos tratamientos con microorganismos y sin basalto, lo que puede indicar una respuesta de los microorganismos en su actividad global con el agregado de basalto.

Tabla 6. Resultados para las variables de micorrización por tratamientos.

Tratamientos	MT		H		A		V	
	%							
Az*sb	56.00	A	50.67	A	0.67	A	4.67	B
Az*cb	66.00	A	48.00	A	4.00	A	16.67	AB
Ps*sb	56.67	A	44.00	A	0.67	A	12.00	AB
Ps*cb	58.00	A	50.00	A	1.33	A	6.67	B
Br*sb	50.00	A	39.33	A	0.00	A	7.33	B
Br*cb	68.00	A	52.00	A	0.00	A	16.00	AB
Co*sb	65.33	A	30.00	A	2.67	A	31.33	A
Co*cb	50.67	A	36.67	A	3.33	A	10.67	AB
CV	14.01		14.70		163.79		30.01	

*(p<0,05); ns: no significativo. MT: micorrización total, H: hifas, A: arbusculos, V: vesículas

Con respecto a la variable actividad biológica global, los tratamientos con mayor actividad fueron el tratamiento control, sin inoculación y sin basalto, junto al tratamiento Ps*cb; en ningún caso hubo significancia estadística, debido al alto coeficiente de variación. Souza et al. (2011) no encontraron un incremento en la actividad respiratoria del suelo utilizando una dosis de 3 tn.ha⁻¹ de diferentes polvos de basalto. Silva et al. (2018) en cambio encontraron valores superiores en la actividad biológica del suelo, con el uso de basalto frente al testigo al inicio de incubación, en suelos con diferentes dosis de polvo de basalto de la misma granulometría utilizada en el presente trabajo; y, al año de evaluación el testigo tomó valores intermedios entre las diferentes dosis de aplicación de basalto. El autor concluyó que el tiempo de incubación de un año no fue suficiente para que esa granulometría del polvo de basalto utilizada sea mineralizada e incremente la actividad biológica en el suelo, teniendo en cuenta aquí la ausencia de plantas y por lo tanto una rizosfera también ausente. La medida de la actividad respiratoria del suelo es considerada un balance entre la actividad de diferentes organismos presentes en el suelo, entre aquellos que producen y consumen CO₂, como así también el consumido en las actividades de meteorización de las rocas (Beerling et al., 2018).

Tabla 7. Comparación de medias por tratamiento para la variable actividad biológica global estudiadas en caupí*

Tratamientos	RESPIRACIÓN	
	mgCO ₂ .100gsuelo ⁻¹	
Az*sb	5.23	A
Az*cb	6.97	A
Ps*sb	4.53	A
Ps*cb	7.00	A
Br*sb	4.53	A
Br*cb	5.60	A
Co*sb	7.00	A
Co*cb	2.43	A
CV	49.22	

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$).

CONCLUSIONS

El efecto combinado del polvo de basalto con microorganismos obtuvo resultados positivos, incrementando en algunos casos los valores obtenidos respecto al uso único del inoculante microbiano. El uso de polvo de basalto sin microorganismo no favoreció la mayoría de las variables medidas.

REFERENCES

- BEERLING, D.J.; LEAKE, J.R.; LONG, S.P. Farming with crops and rocks to address global climate, food and soil security. *Nature Plants* 4,138–147. 2018. <https://doi.org/10.1038/s41477-018-0108-y>
- CRUCIOL COSTA, C.A.; SORATTO, R.P. Eficiência de rocha fonolito moída como fonte de potássio para as culturas do arroz, feijão, milho e soja. *Anais do II Congresso Brasileiro de Rochagem*. 2013.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W.. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. InfoStat versión 2017. URL <http://www.infostat.com.ar>
- GONZALEZ AGUIAR, D.; ÁLVAREZ HERNÁNDEZ, U.; OROZCO, R. L. Acumulación de biomasa fresca y materia seca por planta en el cultivo intercalado caupí – sorgo. *Centro agronómico*. vol.45 no.2 Santa Clara. 2018.
- JOHNSON, D.; LEAKE, J.R.; OSTLE, N.; INESON, P; READ, D.J. In situ¹³CO₂ pulse-labelling of upland grassland demonstrates a rapid pathway of carbon flux from arbuscular mycorrhizal mycelia to the soil. *New Phytologist*, 153: 327-334. 2002. doi:10.1046/j.0028-646X.2001.00316.x
- MADSEN, L.; Marfil, S.; MAIZA, P. Geoquímica y petrografía de los basaltos de la formación Serra Geral de las provincias de Corrientes y Entre Ríos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 75 (4): 559-571. 2018.

- PETERS, M.; FRANCO, L. H.; SCHMIDT, A.; HINCAPIE, B. Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores del trópico Americano. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), N° 374, 212pp. 2011.
- PHILLIPS, J. M.; HAYMAN, D. S. Improved procedures for clearing roots and staining paracitic and vesicular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. Trans.br. micol.sos. 49-50p. 1970.
- ÖHLINGER, R. Soil respiration by titration. F. Schinner, R. Öhlinger, E. Kandeler, R. Margesin, Editors "Methods in Soil Biology", Springer-Verlag, Berlin, 95-98p. 1996.
- SANTOS, K.S. Atuação de fosfato natural com adição de enxofre com *Acidithiobacillus* na solubilização de fósforo e no desenvolvimento de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) em solo de tabuleiro. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 2002.
- SHINDOI, M.M.J.; PRAUSE, J.; JOVER, P.L. Descomposición de *Vigna unguiculata* (caupí) en un Argiudol Típico de Colonia Benítez, Chaco. Revista de investigaciones agropecuarias, ISSN-e 1669-2314, ISSN 0325-8718, vol 38 N°1, 90pp. 2012.
- SILVA, A. DA; 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, Recife, v.7, n.4, 548-554p. 2012.
- SOUZA, D.I.; FAGOTTI, D.L.; SATURNO, D.F.; CERZINI, P.; CERVANTES, V.N.M; NOGUEIRA, M.A. Adubação verde associado a pó de basalto e fosfato natural em sistemas agroecológicos no sul do Paraná e norte de Santa Catarina Green manure associated with powder basalt and phosphate in agroecosystems in southern Paraná and northern Santa Catarina. Resumos do VII Congresso Brasileiro de Agroecologia. 2011.
- THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H. The use of rocks to improve family agriculture in Brazil. Annals of the Brazilian Academy of Sciences, Brasilia, v. 78, 721-730p. 2006.
- VAN STRATEEN, P. Rocks for crops: Agrominerals of sub-Saharan Africa. ICRAF, Nairobi, Kenya, 338pp. 2002.
- WINNIE, O. O. E. Influência do uso de pó de rochas fosfáticas e basálticas na ocorrência de micorrizas arbusculares em solo de cerrado. Universidade de Brasília, Faculdade de tecnologia, departamento de engenharia florestal. 2016.
- SILVA, E.A.; DEUS, A. C. F.; CASSIOLATO, A. M. R.; MALTONI, K. L.; FERNANDES, F. M. Efeitos da rochagem na atividade microbiana de um solo de pastagem degradada. FertBio. 2018.

UTILIZACION DE BIOINSUMOS EN EL CULTIVO DE *PASPALUM ATRATUM* CV. CAMBÁ FCA

MARIEL ALEJANDRA KRYNSKI¹; AMALIA MARIA EUGENIA ROMERO¹;
MARIO HUGO URBANI²; MARÍA CÁNDIDA IGLESIAS¹

¹ Cátedra de Microbiología Agrícola-Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste- Sargento Cabral 2131 CP 3400, Corrientes, Argentina. amaromero86@hotmail.com

²Cátedra de Forrajicultura. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131 Corrientes Capital CP3400.

Abstract:

La incorporación de abonos orgánicos y roca basáltica podría aumentar la calidad y productividad de recursos forrajeros. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de agroinsumos sobre la producción de biomasa de *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA. La siembra se realizó en macetas conteniendo suelo arenoso. Se aplicaron 7 tratamientos con 5 repeticiones en un diseño completo al azar. Los tratamientos fueron: Testigo (T), Fertilizante Mineral (FM), Lombricompost (LC), Lombricompost + Basalto (L+C), Compost (C), Compost + Basalto (C+B) y Basalto (B). Se hicieron 3 cortes de la pastura a los 45, 63 y 84 días después de la siembra, determinando materia seca aérea (MS), y en el último corte se extrajeron las raíces para determinar peso seco. Se realizó ANAVA y comparación de medias por Tukey ($p \leq 0,05$). En el primer corte no hubo diferencias significativas entre tratamientos y en los siguientes cortes el mayor valor lo tuvo el tratamiento LC. En Peso seco radical el mayor valor lo obtuvo el tratamiento FM diferenciándose estadísticamente solo de B. La adición de basalto a los suelos no tuvo efectos positivos sobre ninguna de las variables; sin embargo, al combinarlo con tratamientos orgánicos la respuesta de las variables se mostró favorable.

Keywords: pastura; abonos orgánicos; polvo de basalto; producción

INTRODUCTION

Si bien las pasturas naturales son la base de la alimentación del ganado, las praderas implantadas de especies subtropicales son un recurso importante dentro de los planteos ganaderos del norte de la Argentina (Melgar et al., 2002) y son herramientas de consideración cuando el objetivo es mejorar la producción y productividad de la empresa (Altuve et al., 2003).

Entre las pasturas con buena aptitud y que entregan buena cantidad y calidad de materia seca, que se pueden utilizar para suplir la necesidad de forraje en el bache invernal, se encuentra *Paspalum atratum* cultivar Cambá FCA. Este cultivar se logró por selección de poblaciones naturales de *P. atratum*, que fueron introducidas por la Facultad de Ciencias Agrarias en el año 1990 (Urbani et al., 1996).

Una mejor nutrición del recurso forrajero permitirá aumentar su productividad, mejorar la calidad, aumentar la persistencia de la pradera y optimizar el período de aprovechamiento (Melgar et al., 2002). Una buena alternativa para suplir deficiencias de minerales en el suelo lo constituyen los abonos orgánicos (estiércoles, compostas y residuos de cosecha) que aumentan la capacidad de retención de humedad en suelo y facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (López-Martínez et al., 2001). El estiércol de caballo es muy interesante como fuente de materia orgánica para la agricultura y en especial para el compostaje y el vermicompostaje, debido a que es un material que se composta muy bien; el contenido en nitrógeno es moderado con respecto a otros estiércoles (Tortosa, 2015). Por su parte el lombricompostaje constituye una variación en la tecnología del compostaje mediante la acción de ciertas especies de lombrices capaces de alimentarse del residuo después de un proceso de pre compostaje, por la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior del intestino de la lombriz (Frioni, 2011).

En la producción agropecuaria, en otros países como Brasil está difundido el uso de la roca basáltica, por la gran posibilidad de suplir de nutrientes al suelo debido a su composición, especialmente P, Ca, Mg, y micronutrientes; y por presentar en su mayoría bajo contenido de silicio (Ramos Gindri et al., 2014). Cuanto más finos son los polvos de esta roca, más rápida es su acción entre los microorganismos, característica importante debido a que no es un material soluble y hace falta un mínimo de actividad microbiana en el suelo para la disponibilidad de los nutrientes. En los suelos más pobres en vida microbiana se emplea el basalto muy finamente molido y en mayor cantidad, a cambio sus oligoelementos estimularan notablemente esa vida microbiana (Florin, 2006). La liberación de los nutrientes contenidos en la roca se realiza gracias a los ácidos orgánicos producidos por las plantas y microorganismos, así como por la biomasa en descomposición que se encuentra en el suelo.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de agroinsumos sobre la producción de biomasa de *Paspalum atratum* cv. Cambá y en la actividad biológica del suelo.

MATERIALS AND METHODS

Sustrato y agroinsumos utilizados

El suelo utilizado en el ensayo fue uno de textura arenosa. Los datos del análisis químico previo al ensayo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados obtenidos en el análisis químico de suelo, para las variables: pH, CE (conductividad eléctrica) P (fósforo), K (potasio), Ca (calcio), Mg (magnesio), CO (carbono orgánico) y NT (Nitrógeno Total).

pH	CE (dS.m ⁻¹)	P (mg.kg ⁻¹)	K (Cmolc.kg ⁻¹)	Ca (Cmol.kg ⁻¹)	Mg (Cmolc.kg ⁻¹)	CO (%)	NT (%)
6.1	0.07	28.5	0.1	4.7	1.1	0.78	0.07

El compost y lombricompost empleados fueron elaborados en la Cátedra de Microbiología Agrícola de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNNE). El compost fue realizado a partir de estiércol equino; y el lombricompost a partir de residuos orgánicos domiciliarios varios. La dosis aplicada en el ensayo tanto para lombricompost como para compost fue de 40 tn.ha⁻¹. Las composiciones químicas de estos abonos orgánicos son mostrados en la tabla 2.

El polvo de basalto es un residuo de la extracción y el procesamiento de la roca de basalto de una cantera ubicada en Curuzú Cuatiá (Ruta Nro 119 Km 43300), Corrientes (Argentina). El polvo de basalto recolectado fue pasado por un tamiz de 0,5 mm. La dosis utilizada fue de 2,5 tn.ha⁻¹. La composición química del mismo es mostrada en la tabla 3.

El fertilizante mineral utilizado fue Hydrocomplex (la composición química es mostrada en tabla 4) en su presentación granulada siendo éste altamente soluble. Aporta macro y micronutrientes, nitrógeno en forma de nitrato y amonio, fósforo en forma de polifosfatos y potasio a base de sulfato de potasio. Se aplicó una dosis equivalente a 100 kg.ha⁻¹.

Tabla 2. Resultados obtenidos en el análisis de Lombricompost (LC) y Compost (C), para las variables: pH, CE (conductividad eléctrica), Hu (humedad), S.T. (solidos totales) MO (materia orgánica) NT (nitrógeno total), P (fósforo), K (potasio), Ca (calcio), Mg (magnesio), NO₃ (Nitrato).

	pH	C.E (dS.m ⁻¹)	Hu (%)	S.T. (%)	M.O. (%)	N.T. (%)	P (%)	Mg (%)	K (%)	Ca (%)	NO ₃ (ppm)
LC	7,0	1,2	6,0	94,0	33,7	0,63	0,30	1,6	0,4	4,2	393
C	7,0	3,8	46	54	14,55	0,74	0,6	0,6	0,8	4,4	1814

Tabla 3. Resultados obtenidos en el análisis de basalto para las variables: N (Nitrógeno), P (fósforo), K (potasio), Ca (Calcio), Mg (Magnesio), Fe (Hierro), Cu (Cobre), Mn (Manganeso) y Zn (zinc).

N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Fe (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	Zn (ppm)
0,02	0,18	0,06	1,05	0,1	37600	140	130	30

Tabla 4. Composición química del fertilizante mineral Hydrocomplex

Nutrientes	%
Nitrógeno Total (N) amoniacal-nítrico	12
Fósforo asimilable (P)	4,8
Potasio soluble (K)	15
Magnesio (Mg)	1,5
Hierro (Fe)	0,2
Calcio (Ca)	3
Azufre (S)	8

Ensayo realizado.

Para el ensayo se utilizaron macetas de 5 litros de capacidad. Se incorporaron a los suelos de las macetas correspondientes las dosis de Fertilizante Mineral, Lombricompost, Lombricompost + Basalto, Compost, Compost + Basalto, y Basalto. La siembra se realizó colocando 10 semillas por maceta y éstas fueron distribuidas al azar dentro de un invernáculo. En el ensayo se planteó un diseño completo al azar donde se aplicaron 7 tratamientos con 5 repeticiones con un total de 35 Unidades Experimentales (UE) (tabla 5).

La emergencia de plántulas se inició a los 5 días posteriores a la siembra; se realizó riego y monitoreo de plagas y enfermedades durante todo el ensayo. A los 30 días de la siembra se llevó a cabo un raleo de las plantas por maceta quedando 3 en cada una.

Tabla 5. Descripción de los tratamientos y las dosis aplicadas en el ensayo.

Tratamientos	Descripción	Dosis
T	Testigo (Suelo Solo)	-
FM	Fertilizante Mineral	0,1785 g/ 5 kg de suelo. Equivalente a 100 kg.ha ⁻¹
LC	Lombricompost	71 g/ 5 kg de suelo. Equivalente a 40 tn.ha ⁻¹
LC+B	Lombricompost + Basalto	71 g/ 5 kg de suelo equivalente a 40 tn.ha ⁻¹ + 4,45 g/ 5 kg de suelo equivalente a 2,5 tn.ha ⁻¹ , respectivamente
C	Compost	71 g/ 5 kg de suelo equivalente a 40 tn.ha ⁻¹
C+B	Compost + Basalto	71 g/ 5 kg de suelo equivalente a 40 tn.ha ⁻¹ + 4,45 g/ 5 kg de suelo equivalente a 2,5 tn.ha ⁻¹ , respectivamente
B	Basalto	4,45 g/ 5 kg de suelo equivalente a 2,5 tn.ha ⁻¹

A los 44 días posteriores a la siembra se realizó el primer corte de la pastura, para lo cual mediante una tijera se realizaron los cortes a la altura del puño tratando de simular el pastoreo de animales. A los 62 días posteriores a la siembra se efectuó el segundo corte de la pastura siguiendo los mismos criterios que en el primer corte. El tercer corte se concretó a los 83 días

desde la siembra, realizando además la extracción total del cultivo. Los momentos de cortes fueron definidos por observación del sombreado en la superficie del suelo expuesta en la maceta. En todos los cortes la parte aérea fue acondicionada para su secado en estufa. Los cortes se realizaron porque esta pastura requiere de cortes frecuentes para mantener la calidad y además también con la intención poder visualizar el efecto de los tratamientos sobre la capacidad de rebrote, mediante la obtención de peso seco en cada muestreo. Para la extracción de la parte radical, se procedió a extraer las raíces cuidadosamente, separando el suelo adherido con golpes suaves. Una vez separadas las raíces, fueron lavadas y llevadas a estufa hasta peso contante para determinar de esta manera peso seco radical.

Análisis estadístico: Los resultados obtenidos fueron ordenados y tabulados para luego efectuar análisis de varianza y una comparación de medias entre tratamientos a través del test de Tukey con un $p > 0,05$.

RESULTS AND DISCUSSION

En cuanto a la variable peso seco de parte aérea, datos mostrados en la tabla 6, al momento del primer corte no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En el segundo corte el mayor valor lo obtuvo el tratamiento Lombricompost diferenciándose estadísticamente de los tratamientos Testigo, Fertilizante mineral y Basalto siendo este último el del menor valor. En la medición final el tratamiento lombricompost mantuvo diferencias con Fertilizante Mineral y Basalto. Un análisis podría sugerir que a la hora de evaluar acumulación de materia seca de la pastura después del primer corte, el de mejor respuesta fue la adición de lombricompost. Respuesta similar encontró Jácome Gomez (2006) trabajando con el género *Brachiaria*, al comparar los efectos de diferentes fuentes de fertilizantes químicos y abonos orgánicos. Tavares et. al (2018) trabajando con polvo de fonolita y compost sobre pasto brachiaria (*Urochloa decumbens*), encontró que la adición de compost influyó positivamente en la materia seca del forraje diferenciándose del tratamiento control, sin embargo los tratamientos compost enriquecido, mezclado y puro, no difirieron estadísticamente entre sí. Además, la fertilización con fonolita en polvo natural no dio lugar a un aumento estadísticamente significativo de la producción total de materia seca de forraje en comparación con el control.

Tabla 6. Resultados obtenidos para la variable Peso Seco de parte Aérea (PSA) Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

PRIMER CORTE			SEGUNDO CORTE			TERCER CORTE		
Tratamientos	Medias		Tratamientos	Medias		Tratamientos	Medias	
LC+B	3.13	A	LC	2.97	A	LC	3.18	A
C+B	2.83	A	C+B	2.71	AB	LC+B	2.78	AB
C	2.71	A	LC+B	2.49	ABC	C+B	2.77	AB
LC	2.62	A	C	2.24	ABCD	C	2.40	ABC
FM	2.60	A	T	1.89	BCD	T	2.28	ABC
T	2.34	A	FM	1.72	CD	FM	2.09	BC
B	1.99	A	B	1.42	D	B	1.74	C
CV: 49.51			CV: 38.34			CV: 36.19		

Con respecto a la variable Peso seco radical (Tabla 7), el mayor valor lo obtuvo el tratamiento Fertilizante Mineral con diferencias significativas frente al tratamiento Basalto, siendo este último el que menor valor arrojó. Experiencias realizadas previamente en el cultivo de albahaca (Krynski et al., 2017) con el uso de microorganismos, abonos orgánicos y basalto, encontrando con el mejor comportamiento en peso seco de raíz a la aplicación de un inoculante microbiano y el menor valor en el tratamiento con compost, en tanto la adición de basalto no se diferenció de los demás tratamientos. A pesar de que los abonos orgánicos realizan aportes en nutrientes para las plantas, posiblemente el fertilizante al ser más soluble pueda perderse más rápido del suelo con los riegos, generando una mayor exploración de las raíces en busca de nutrientes.

Tabla 7. Resultados obtenidos para la variable Peso Seco Radical (PSR). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$).

Tratamientos	Medias	
FM	15.94	A
LC	15.09	AB
T	14.90	AB
LC+B	14.12	AB
C+B	11.43	AB
C	10.51	AB
B	7.30	B
CV: 32.06		

CONCLUSIONS

En el cultivo de *Paspalum atratum* cv cambá el uso de lombricompost puede incrementar la producción en materia seca de la parte aérea y promover una mejor respuesta en acumulación de materia seca post cortes o pastoreos de la pastura.

La adición de basalto a los suelos no tiene efectos positivos sobre el cultivo para ninguna de las variables medidas; sin embargo, al combinarlo con los tratamientos orgánicos la respuesta de las variables se muestra favorable.

El tratamiento fertilizante mineral promueve el incremento del peso seco radical de la pastura.

REFERENCES

- ALTUVE, S.; BENDERSKY D. Pasturas y verdeos en Corrientes, establecimiento y producción. E.E.A. INTA Mercedes. Sitio Argentino de Producción Animal. Noticias y Comentarios N° 379. 2003. http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/27-pasturas_y_verdeos_en_corrientes.pdf
- FLORIN, X. El basalto en la agricultura. Revista la fertilidad de la tierra 24. 49-52. 2006. http://www.mapama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Ferti/Ferti_2006_24_48_52.pdf
- FRIONI, L. Microbiología: básica, ambiental y agrícola. 1ª. ed. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 786 p. 2011.
- JÁCOME GOMEZ, L.; SUQUILANDA, M. Fertilización química y órgano-mineral del pasto Mulato (*Brachiaria* híbrido) y Xaraés (*Brachiaria brizantha* Xaraés). Revista EÍDOS 1. 62-72. 2006
- KRYNSKI, M.; ROMERO, A.; IGLESIAS, M. "Utilización de agroinsumos en el cultivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.)". Agrotecnia N° 25 Edición Especial: XI Reunión Nacional Científico-Técnica de Biología de Suelos- Corrientes (Argentina). ISSN on line 2545-8906. 2017
- LÓPEZ-MARTINEZ, J.; DÍAZ, A; MARTÍNEZ, E.; VALDEZ, R. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. Terra Latinoamericana, vol. 19, núm. 4. pp. 293-299. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México. 2001 <http://www.redalyc.org/html/573/57319401/>
- MELGAR, R.; TORRES D. Forrajas subtropicales. Sitio argentino de producción animal. 2002 http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_megatermicas/27-pasturas_y_verdeos_en_corrientes.pdf
- RAMOS GINDRI C.; GISLAINE DE MELLO, A.; KAUTZMAN MÜLLER, R. A preliminary study of acid volcanic rocks for stonemeal application. Environmental Nanotechnology Monitoring and management. 1-2 30-35. 2014.
- TAVARES, L.; XAVIER DE CARVALHO, A.; BROGLIATO CAMARGO, L.; PEREIRA, S.; CARDOSO, I. Nutrients release from powder phonolite mediated by bioweathering Actions. 2018.
- TORTOSA, G. Materiales para compostar: estiércol de caballo. Compostando ciencia. 2015. <http://www.compostandociencia.com/2015/02/materiales-para-compostar-estiercol-de-caballo/>
- URBANI, M.; QUARIN, C.; ESPINOZA, F. Y NORRMANN, G. Inscripción en el Registro de la Propiedad de Cultivares del Pasto "Cambá FCA"; una Forrajera para el Nordeste. Actas de la Reunión de Comunicaciones Científicas y Tecnológicas. UNNE, Tomo III p. 81-84. 1996.

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CAPIM MOMBAÇA EM FUNÇÃO DO USO DE ADUBOS ALTERNATIVOS

LAYANARA OLIVEIRA FARIA¹; ANE GABRIELE VAZ SOUZA¹; PEDRO HENRIQUE NASCIMENTO CINTRA¹; WESTEFANN SANTOS SOUSA¹; THIAGO SOUZA CAMPOS¹; OSMANNY FRANCISCO PEREIRA DE MELO¹; ADILSON PELÁ¹

¹Universidade Estadual de Goiás (UEG), rodovia GO 330, Km 241, anel viário, 75780-000, Ipameri, Goiás, layanara.agro@hotmail.com

Resumo:

A associação de remineralizadores com fertilizantes orgânicos tem se destacado pelo custo reduzido e por potencializar a qualidade nutricional e a produtividade das forrageiras. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de adubos alternativos, no desenvolvimento inicial de capim Mombaça. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade Estadual de Goiás, campus Ipameri, sendo constituído por 30 unidades experimentais, sob o delineamento inteiramente ao acaso, com seis repetições, compreendendo cinco tratamentos: Adubação convencional; Orgânica; Convencional + Orgânica; Orgânica + Remineralizador; Convencional + Remineralizador. Após 50 dias da semeadura, foram determinados os números de perfilhos por plantas; a altura das plantas; o teor de clorofila e as massas, fresca e seca, totais. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e, para comparação das médias dos tratamentos, com diferentes fontes nutricionais, realizou-se o teste de Skott Knott, ao nível de 5% de significância. A adubação convencional + remineralizador obteve as menores médias para massa fresca total, massa seca total e número de perfilhos. Já as adubações orgânica e remineralizador + orgânica foram os tratamentos que exibiram as maiores médias para as mesmas variáveis, sendo, portanto, onde o capim Mombaça apresentou maior potencial de desenvolvimento inicial.

Palavras-chave: remineralizadores; pó de rocha; *panicum*; adubação orgânica

INTRODUÇÃO

A principal fonte de alimento da bovinocultura, no Brasil, são as forrageiras, uma vez que a criação animal, em sua maioria, apresenta-se em sistema extensivo, pelo menos em uma das fases de produção (DIAS et al., 2015). Para formação e manejo das pastagens cultivadas, o conhecimento dos fatores nutricionais limitantes ao desenvolvimento de gramíneas forrageiras

é fundamental para a construção de práticas adequadas de adubação e correção (COSTA et al., 2015), aumentando a produtividade por hectare e a taxa de lotação (RIBEIRO JR et al., 2015).

Plantas forrageiras têm sua produtividade e qualidade influenciadas por inúmeros fatores, como características da cultivar, clima, tipo de solo, disponibilidade hídrica, assim como fornecimento de nutrientes pelo solo (ANDRADE et al., 2019). O cerrado caracteriza-se pelos solos de baixa fertilidade natural e elevada acidez, limitando a produtividade e persistência das pastagens (COSTA et al., 2019). Entre as forrageiras utilizadas na pecuária brasileira, o *Panicum maximum* cv. Mombaça destaca-se pela alta produtividade, com percentual de folhas elevado, na época de seca, porém, muito exigente em fertilidade do solo (TORRES et al., 2015).

Como alternativa complementar ao manejo da fertilidade dos solos do cerrado, surge o esterco animal, adicionando, ao solo, nutrientes como N, P, K, Ca e Mg, que concebem melhorias para produção de forrageiras (SILVA et al., 2015), pela mineralização do esterco e liberação gradual de nutrientes, suprimindo as exigências nutricionais das pastagens (RAMOS et al., 2015), ao passo que a utilização de adubos orgânicos reduz os custos com a adubação convencional (CASTRO et al., 2016). Os resíduos avícolas, utilizados como adubos orgânicos, podem contribuir para a fertilidade dos solos, por melhorar os seus atributos físicos, químicos e biológicos (RIBEIRO et al., 2019).

Nas últimas décadas, a pesquisa científica tem buscado adubos alternativos, como o uso de rochas moídas, de natureza silicatada e vulcânica, ou rejeitos de mineração, substituindo os fertilizantes convencionais, de alta solubilidade (WRITZL et al., 2019). A rochagem é uma prática que altera positivamente a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio ambiental, pois visa auxiliar o rejuvenescimento ou a remineralização e, ainda, a redução do uso demasiado dos insumos químicos (BRITO et al., 2019).

Machado et al. (2018) ressaltam que a adubação proveniente de rochas de fonolito e termopotássio são ótimas alternativas para pastagens, fornecendo elevadas concentrações de nutrientes, principalmente de potássio. Valentini et al. (2016) apontam que a utilização de pó de rocha, associado ao esterco bovino, pode beneficiar o pecuarista, melhorando a fertilidade do solo, sem afetar o meio ambiente e, ainda, favorecer a solubilização do resíduo de rocha, de modo a proporcionar nutrientes favoráveis para o aproveitamento das plantas.

A solubilização destes minerais é um processo diretamente relacionado à atividade biológica, sendo assim, práticas culturais que estimulem a microbiota do solo são efetivas na liberação de nutrientes do pó de rocha (HINSINGER et al., 2001). Portanto, se faz necessária a avaliação de fontes alternativas de adubação, em comparação com as convencionais, pois a associação de remineralizadores com fertilizantes orgânicos tem se destacado pelo custo reduzido e por potencializar a qualidade nutricional e a produtividade das forrageiras. Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito das diferentes adubações no desempenho inicial do capim Mombaça.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação, na Universidade Estadual de Goiás, Campus Ipameri, com altitude de 773 m e coordenadas geográficas de 17°43'19" S e 48°09'35" O. A condição climática da região é do tipo AW, tropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco, segundo classificação de Köppen (ALVARES et al., 2013). O solo da área experimental é classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (EMBRAPA, 2013).

Antes da instalação do experimento, o solo foi coletado para realização da análise química, que apresentou o seguinte resultado: pH (CaCl₂) = 5,3; M.O = 9 g dm³, H + Al = 2,94 cmol_c dm⁻³ (método SMP), Al⁺³ = 0,0 cmol_c dm⁻³, Ca⁺² = 0,2 cmol_c dm⁻³, Mg⁺² = 0,06 cmol_c dm⁻³, K⁺ = 0,05 cmol_c dm⁻³, P = 0,0005 cmol_c dm⁻³, CTC = 3,25 cmol_c dm⁻³ e V% = 9,5. Os resultados da análise do esterco avícola, expresso em base seca, foram: N= 41,0 g/kg⁻¹, P₂O₅= 61,0 g kg⁻¹, K₂O= 29,5 g kg⁻¹. Enquanto o remineralizador, originado na Pedreira Araguaia, em Aparecida de Goiânia, GO, apresentou as seguintes características químicas em porcentagem (%): SiO₂= 57,7, Fe₂O₃= 8,9, MgO= 4,8, K₂O=3,2, Na₂O= 2,3, CaO= 1,8, P₂O₅= 0,2, SB= 12,1 %. Ainda, apresentou em sua composição mineralógica (%): Albita = 26,2, Biotita= 21,4, Muscovita= 9,7, Clorita= 15,8, Quartzo= 19,7, Granada= 5,7, Ilmenita= 1,1.

Para a forrageira *Panicum maximum* cv. Mombaça, preconiza-se a saturação de bases no solo de 55 % (MARTHA JUNIOR et al., 2007). Dessa maneira, um mês antes da implantação do experimento, aplicou-se, por parcela, 0,5 gramas de óxido de cálcio e de magnésio (PRNT 100%). Para garantir a reatividade dos produtos de correção, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade máxima de retenção de água, através de irrigações, durante o período de incubação. Logo após esta fase, foi realizada a adubação de estabelecimento e posterior semeadura da forrageira.

O experimento foi constituído por 30 unidades experimentais, cada uma representada por um vaso, sob o delineamento inteiramente ao acaso, com seis repetições, compreendendo cinco tratamentos: Adubação convencional; Orgânica; Convencional + Orgânica; Orgânica + Remineralizador; Convencional + Remineralizador. As fontes convencionais utilizadas foram: uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio, nas doses de 180 kg ha⁻¹ de N; 97 kg ha⁻¹ de P e 142 kg ha⁻¹ de K. Já para fonte orgânica, foi utilizado o esterco avícola (40 Mg ha⁻¹), e para o remineralizador, o pó de rocha micaxisto (5 Mg ha⁻¹).

A semeadura foi realizada, utilizando 10 sementes da forrageira *Panicum maximum* cv. Mombaça. Após 20 dias da emergência das plântulas, realizou-se o desbaste, mantendo três plantas por vaso. Para os tratamentos que receberam a adubação convencional, as doses de nitrogênio foram subdivididas, afim de permitir o aumento da eficiência da adubação nitrogenada (COSTA et. al., 2010). O fósforo e o potássio foram disponibilizados no momento da semeadura. A irrigação foi realizada uma vez ao dia, para a manutenção da umidade do solo.

Após 50 dias da semeadura, foram determinados o número de perfilhos por plantas, pela contagem, a altura das plantas, com o auxílio de um instrumento graduado em três pontos do vaso, e a análise do teor de clorofila, medido pelo aparelho CFL1030, expresso em unidade Falker, sendo as leituras com o clorofilômetro efetuadas em 3 folhas, recém expandidas. O corte foi efetuado à altura de 10 cm do solo e, posteriormente, as amostras foram levadas ao laboratório e pesadas, para a determinação da massa fresca. O material fresco foi acondicionado em sacos de papel e seco em estufa de circulação forçada de ar, a 65°C, para a obtenção da matéria seca. Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância, e para comparação das médias dos tratamentos, com diferentes fontes nutricionais, realizou-se o teste de Skott Knott, ao nível de 5% de significância, sendo utilizado o software Sisvar para realização da análise estatística.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para as variáveis analisadas houve diferença estatística entre os tratamentos para o número de perfilhos, para a massa fresca total e para a massa seca total. Para altura e índice de clorofila não foram expressos resultados significativos (Tabela 1).

Tabela 1. Resumo da análise de variância referente às variáveis NF (Número de perfilhos), AL (Altura de plantas), IC (Índice de clorofila), MF (Massa fresca total) e MS (Massa seca total), realizadas em *Panicum maximum* cv. Mombaça. UEG-Campus Ipameri, 2019.

GL	Quadrados Médios					
	NP	AL	IC	MFT	MST	
Tratamento	4	360.8978*	120.8099 ^{NS}	47.2239 ^{NS}	8206.1166**	225.3716*
Resíduo	20	45.216941	45.216941	45.216941	45216941	45.216941
CV (%)	-	27.66	8,42	19,08	28,52	38,04

** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade de erro; * Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade de erro; ^{NS} Não Significativo.

As adubações orgânica + pó de rocha, orgânica e convencional mostraram-se estatisticamente iguais entre si, e superiores aos demais tipos de adubação, em relação ao número de perfilho, apresentando resultado significativo ($P < 0,05$) (Tabela 2). A maior média de número de perfilho, 33,33, foi obtida no tratamento com adubação orgânica, apresentando resultado superior ao do estudo realizado por Porto et al., (2014), onde, avaliando a densidade populacional de perfilhos de cultivares de *Brachiaria brizantha*, submetidos à adubação nitrogenada, obtiveram número médio de perfilhos igual a 31,15.

Tabela 2. Número de perfilhos (NP), Altura de plantas (AL), Índice de clorofila (IC), Massa fresca total (MFT) e Massa seca total (MST) de capim *Panicum maximum* cv. Mombaça, em função de diferentes adubações com fonte convencional, orgânica e remineralizador.

Tratamentos	Variáveis				
	NP	AL(cm)	IC(Falker)	MFT(g/vaso)	MST(g/vaso)
C	27,66 a	80,69 a	28,78 a	114,16 a	16,50 b
O	27,83 a	86,94 a	31,59 a	152,50 a	24,81 a
C+O	14,22 b	85,61 a	34,67 a	128,33 a	20,33 a
C+R	18,50 b	75,92 a	29,67 a	57,92 b	9,40 b
R+O	33,33 a	84,72 a	34,91 a	140,83 a	23,04 a
CV (%)	27,66	8,42	19,08	28,52	38,04

Médias seguidas de mesma letra minúscula, na coluna, não diferem entre si ($P>0,05$) pelo teste de Skott Knott. C (Adubação convencional); O (Adubação orgânica); C+O (Convencional + Orgânica); C+R (Convencional + Remineralizador); R+O (Remineralizador + Orgânica).

A falta de N prejudica o perfilhamento, uma vez que o mesmo colabora para o desenvolvimento da planta. Castro et al., (2016), em estudos sobre a eficiência de utilização de adubação orgânica, em forrageiras tropicais, constataram que a adubação inorgânica apresentou respostas semelhantes às duas maiores doses de esterco utilizadas. Contudo, deve ser lembrado que o nitrogênio derivado de dejetos de animais se torna disponível para plantas, quando mineralizado, e quanto maior a taxa de decomposição, mais rápida a disponibilização, se tornando dependente da relação C/N das plantas consumidas pelos animais (Neto et al., 2016).

A massa fresca total da forragem foi influenciada pelos tipos de adubação ($P<0,01$), onde a convencional + pó de rocha se mostrou estatisticamente inferior às demais, e os outros tratamentos se mostraram estatisticamente análogos entre si (Tabela 2). Ao analisar a produção e estrutura de pastos de capim-massai, adubado com dejetos da produção animal, a maior massa foi notada quando se utilizou adubação com ureia (Neto et al., 2016). Os perfilhos apresentam forte influência sobre o acúmulo de biomassa da pastagem, pois, em estudo avaliando a produção de forragem, morfogênese e eficiência agrônômica do adubo em capim BRS Quênia, sob doses de nitrogênio, constataram que o acréscimo da quantidade de folhas vivas por perfilho, associado ao maior número de perfilhos, pode ser o fator principal que esclarece o aumento da biomassa de parte aérea com a adubação nitrogenada (Martucello et al., 2018). A presente análise demonstra que pode ter ocorrido esta associação, pois o tratamento que apresentou maior massa também apresentou maior número de perfilhos que os demais. O primeiro corte das gramíneas forrageiras pode apresentar resultado não satisfatório, já que é mais lento se comparado à rebrota, uma vez que, inicialmente, os fotoassimilados são redirecionados para o estabelecimento do sistema radicular e da parte aérea (Cabral et al., 2015).

Das adubações realizadas, a convencional + orgânico, remineralizador + orgânico e orgânico proporcionaram as maiores produtividades de massa seca ($P<0,05$), de modo que apresentaram

diferenças estatísticas para os outros tratamentos (Tabela 2). Possivelmente, a adubação orgânica manteve os teores de nitrogênio mais instáveis para a cultura, o que possibilitou a liberação gradual de N para o capim, reduzindo as perdas do nutriente por lixiviação e volatilização, aumentando a sua eficiência no uso da forrageira, que estando associada ao fertilizante químico que tem a fonte exclusivamente mineral (uréia), com a presença de N prontamente disponível, possibilitou o incremento da produção de matéria seca, por ser este elemento químico o responsável em conferir maior produção de massa seca no capim-mombaça. Os resultados para esse parâmetro corroboram com os obtidos por Galindo et al. (2018), ao avaliarem o efeito da adubação com nitrogênio sobre pastagens estabelecidas com capim mombaça, em resposta às diferentes doses e fontes de fertilizantes nitrogenados, conferindo maior produção de massa seca, com o aumento nas doses de N aplicado.

Enquanto os tratamentos convencional e convencional + remineralizador, apesar de serem estatisticamente iguais, diferiram dos demais (Tabela 2), apresentando os menores índices de massa seca produzida, o que é justificado pela adubação química e mineral expressar oscilações e rápidas alterações na quantidade de N, na solução do solo, influenciando sobre o desenvolvimento da cultura (LEE, 2010).

CONCLUSÃO

As adubações orgânica (O) e remineralizador + orgânica (R+O) foram os tratamentos onde o capim Mombaça apresentou maior potencial de desenvolvimento inicial, exibindo as maiores médias para massa fresca e seca total, e para o número de perfilhos. Já os tratamentos C+O e C apresentaram inferioridade em variáveis relevantes NP e MST, respectivamente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, R. A.; PORTO, M. O.; CAVALI, J.; FERREIRA, E.; BERGAMIN, A. C.; SOUZA, F. R. D.; AGUIAR, I. S. D. Azo-pirillum brasileiro e fosfato natural reativo no estabelecimento de forrageira tropical. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 1, 146-154, 2019.
- ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, Stuttgart, v.22, n.6, p.711-728, 2013.
- CABRAL, C. E. A.; CABRAL, L. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; CARVALHO, K. S.; BAUER, M. O.; CABRAL, C. H. A. Proporção de fertilizantes fosfatados no cultivo de forrageira tropical em casa de vegetação. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, v. 114, n. 2, 193-200, 2015.
- CASTRO, C. S.; LOBO, U. G. M.; RODRIGUES, L. M.; BACKES, C.; SANTOS, A. J. M. Eficiência de utilização de adubação orgânica em forrageiras tropicais. *Revista de Agricultura Neotropical*, Cassilândia, v. 3, n. 4, p. 48-54, 2016.

- COSTA, N. D. L.; MORAES, A. D.; CARVALHO, P. C. F. D.; MAGALHÃES, J. A.; RODRIGUES, B. H. N.; SANTOS, F. J. D. S. Acúmulo de forragem e morfogênese de *Axonopus aureus* sob adubação potássica. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 8, e49881270, 2019.
- COSTA, N. D. L.; TOWNSEND, C. R.; MAGALHÃES, J. A.; PAULINO, V. T.; RODRIGUES, A. N. A.; RODRIGUES, B. H. N. Resposta de *Panicum maximum* cv. Massai à fertilização fosfatada. *Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia*, Maringá, v. 9, n. 10, p. 429-433, 2015.
- COSTA, K. A.; FAQUIN, V.; OLIVEIRA, I. P. Doses e fontes de nitrogênio na recuperação de pastagens do capim Marandu. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 62, n. 1, p. 192-199, 2010.
- DIAS, D. G.; PEGORARO, R. F.; ALVES, D. D.; PORTO, E. M. V.; NETO, J. A. D. S.; ASPIAZÚ, I. Produção do capim Piatã submetido a diferentes fontes de fósforo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente*, v. 19, n. 4, p. 330-335, 2015.
- EMBRAPA. *Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2013.
- GALINDO, F. S.; BUZETTI, S.; TEIXEIRA-FILHO, M. C. M.; DUPAS, E.; CARVALHO, F. C. Manejo da adubação nitrogenada no capim-mombaça em função de fontes e doses de nitrogênio. *Revista de Ciências Agrárias*, v.1, n. 1, p. 900-913, 2018.
- BRITO, R. S.; BATISTA, J. F.; MOREIRA, J. F. V.; MORAES, K. N. O.; SILVA, S. O. Rochagem na agricultura: importância e vantagens para adubação suplementar. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, Rio Branco, v.6, n.1, 528-540, 2019.
- HINSINGER, P.; BARROS, O. N. F.; BENEDETTI, M. F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.65, n.1, p.137-152, 2001.
- LEE, J. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. *Scientia horticulturae*, v. 124, n. 3, p. 299-305, 2010.
- MACHADO, L. G.; SILVA, Y. K. L.; BARBOSA, W. G.; SILVA, L. F. C. R.; CARVALHO, A. M. X. Termopotássio e fonolito como Fontes alternativas para a fertilização de pastagens. *Cadernos de Agroecologia*, v.13, n.1, 2018.
- MARTHA JUNIOR et al.; VILELA, L.; SOUSA, D. M. G. de (Ed.). *Cerrado: uso eficiente de corretivos e fertilizantes em pastagens*. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 224 p.
- MARTUSCELLO, J. A.; RIBEIRO, Y. N.; BRAZ, T. G. S.; FERREIRA, M. R.; ASSIS, J. A.; JANK, L.; REIS, G. A. Produção de forragem, morfogênese e eficiência agrônômica do adubo em capim BRS Quênia sob doses de nitrogênio. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v.75, p.1-12, 2018.
- NETO, J. V. E.; PEREIRA, G. F.; DIFANTE, G. S.; OLIVEIRA, L. G.; LIMA, A. R.; SANTOS, W. R.; GURGEL, M. F. Produção e estrutura de pastos de capim-massai adubado com dejetos da produção animal. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v.73, n.2, p.111-117, 2016.
- PORTO, E. M. V.; VITOR, C. M. T.; ALVES, D. D.; OLIVEIRA, D. R.; DOROTEUS, M. R.; GONÇAVES, V. D. Densidade populacional de perfilhos de cultivares de *brachiaria brizantha* submetidos à adubação nitrogenada. *Agropecuária Cient. no Semiárido*, v. 10, n. 4, 46-51, 2014.
- RAMOS, J. P. D. F.; SANTOS, E. M.; PINHO, R. M. A.; BEZERRA, H. F. C.; PERIERA, G. A.; BELTRÃO, G. R.; OLIVEIRA, J. S. Crescimento da palma forrageira em função da adubação orgânica. *Revista Electrónica de Veterinária*, v. 16, n. 12, p. 1-11, 2015.

- RIBEIRO, D. O.; CASTOLDI, G.; SILVA, H. D.; CALVACANTE, T. J.; ALMEIDA JÚNIOR, J. J.; LIMA, L. I. O.; CARBALLAL, M. R. Atributos físicos de um latossolo após o uso de doses de cama de frango acrescidas à adubação mineral. *Colloquium Agrariae*, v. 15, n.2, p. 9-17, 2019.
- RIBEIRO JÚNIOR, M. R.; CANAVER, A. B.; RODRIGUES, A. B.; DOMINGUES NETO, F. J.; SPERS, R. C. Desenvolvimento de *Brachiária brizantha* cv. Marandú submetidas a diferentes tipos de adubação (química e orgânica). *UNIMAR Ciência*, Marília, v. 24, n. 1-2, p. 49-53, 2015.
- SILVA, A. A.; COSTA, A. M.; LANA, R. M. Q.; PEREIRA JUNIOR, A. M. Potencialidade da aplicação de dejetos líquidos de suínos em pastagem de *Brachiaria decumbens*. *Acta Iguazu*, Cascavel, v.4, n.1, p. 66-80, 2015.
- TORRES, F. E., FILHO, N. M. S., TEODORO, P. E., RIBEIRO, L. P., NASCIMENTO, J. N., FERREIRA, R. S. Crescimento e produção de forragem de cultivares de *Panicum maximum* em função do tipo de semente. *Global Science and Technology*, Rio Verde, v.08, n.01, p.40 – 46, 2015.
- VALENTINI, L.; FERREIRA, J. M.; ANDRADE, W. E. B.; OLIVEIRA, L. A. A.; SHIMOYA, A. Avaliação de pó de rocha como fertilizante alternativo em pastagem na região noroeste. *Informação tecnológica*, Niterói, n. 96, 2016.
- WRITZL, T.; CANEPPELLE, E.; STEIN, J. S.; KERKHOFF, J.; STEFFLER, A.; SILVA, D. W.; REDIN, M. Produção de milho pipoca com uso do pó de rocha de basalto associado à cama de frango em latossolo. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, Viçosa, v. 9, n. 2, p.101-109, 2019.

APLICAÇÃO DE PÓ DE ROCHA BASÁLTICA (PRB) EM CULTIVO DE CANA DE ANO

**CÉSAR MARTORELI DA SILVEIRA¹, GABRIEL VINICIUS LIMA DE SOUZA², LUIGI CICILINI
BENEDINI MOURA², RENATO NERY MALMEGRIM JUNIOR², PEDRO HENRIQUE
BATISTA DOS SANTOS³, RIAN NOGUEIRA³, ANTONIO ALEXANDRE BIZÃO⁴**

¹ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Colégio Técnico Agrícola “José Bonifácio” (CTA-UNESP), Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14.884-900, Jaboticabal, São Paulo, cesar.m.silveira@unesp.br;

² Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV-UNESP), Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14.884-900, Jaboticabal, São Paulo, gabriel_vinicius27@hotmail.com, luigi.benedini@unesp.br, renatomalmegrim@gmail.com;

³ Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Colégio Técnico Agrícola “José Bonifácio” (CTA-UNESP), Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n, CEP 14.884-900, Jaboticabal, São Paulo, p00111@outlook.com, rian.nogueira@outlook.com;

⁴ Pesquisador independente e Consultor em Agrogeologia, aabizao@gmail.com.

Resumo:

O processo de rochagem é conhecido pela obtenção de pó de rocha (PR), que em condições adequadas de granulometria e composição mineralógica pode ser utilizado no desenvolvimento e crescimento das culturas agrícolas. Desta forma, avaliou-se a aplicação do PR, a lanço, após o plantio de cana de ano, aos 45 dias, no município de Bebedouro-SP, com experimento em delineamento de blocos casualizados, contendo quatro repetições e diferentes doses de PR: 0,0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 t ha⁻¹, em um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico - PVAe, seguida pelos tratamentos culturais padrões da propriedade. Além disso, fez-se uma redução de 20% na adubação mineral de cobertura. Foram realizadas medições não destrutivas das características agronômicas da cultura: número de perfilhos por metro (NP m⁻¹), altura de plantas (ALT PLANT), diâmetro de colmo (DC) e índice de área foliar estimado (IAF). Os valores médios obtidos passaram pela análise de variância e regressão polinomial das doses, mediante o uso do software AgroEstat. Com os resultados observados, a aplicação de PR proporcionou maiores valores médios, se comparados ao tratamento sem PR (testemunha), para tais variáveis, concluindo que o pó de rocha de basalto (PRB) estudado contribuiu para o desenvolvimento e crescimento inicial da cultura.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; remineralizador; agrominerais.

INTRODUÇÃO

A busca pela sustentabilidade, nos sistemas agrícolas, tem feito com que pesquisas se desenvolvam, na referida área, e encontrem soluções para uma nova agricultura, moderna e produtiva. O aumento da população mundial, projetado para os próximos 30 anos (2050), traz consigo a necessidade de alimentar mais de 9,7 bilhões de pessoas, e traz também o imenso desafio de diminuir o índice de fome no mundo, até o ano de 2030, visto que esse número tem aumentado linearmente, há mais de uma década (FAO, 2019). O uso de produtos de origem natural pode minimizar a demanda por fertilizantes inorgânicos, nos sistemas produtivos, sendo um fato positivo, uma vez que a aquisição e o preparo desses fertilizantes têm um alto custo. Dentro desta premissa, é necessário pesquisar o potencial de produtos capazes de garantir os processos agrícolas, e ainda manter a qualidade alimentar dos produtos e subprodutos gerados por meio de um manejo sustentável. Para isso, é importante considerar ações positivas para com a base da produção, que são os solos. O caso do processamento das rochas, visando o enquadramento como remineralizadores de solos, parte do tripé conceitual da sustentabilidade, com base nas condições econômicas, sociais e produtivas, aliadas às novas fontes alternativas de produção dos sistemas agrícolas. A prospecção deste tipo de produto, de forma regionalizada, e buscando a inserção nos diferentes sistemas de cultivos, é outro fator de extrema importância na garantia da produção e logística desse processo. A adição de pós de rocha aos solos mais pobres ou intemperizados é uma prática para reestruturação da fertilidade. A técnica da rochagem, remineralização de solos, ou petrofertilização, está fundamentada nas descrições de processos da agrogeologia (Van Straaten, 2002). O uso de pó de rocha possibilita o rearranjo dos solos, a melhoria nos seus aspectos de fertilidade e conservação dos recursos naturais, por períodos mais longos, promovendo efeitos residuais, bem como melhora as condições do solo para o crescimento das plantas, com incrementos no pH do solo e na CTC. Possibilita, também, o aumento da disponibilidade de nutrientes e a redução da saturação de alumínio (Silva et al., 2013). No entanto, é sabido que os diferentes tipos de rochas apresentam comportamentos diferenciados, em termos de alteração dos níveis de fertilidade, bem como em termos de produtividade agrícola. Esse uso garante o aumento da disponibilidade dos principais macronutrientes (K, P, Ca e Mg), contribuindo com a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, podendo diminuir o uso, ou até mesmo zerá-lo, em relação aos fertilizantes minerais (Theodoro et al., 2013). O uso de pós de rocha, categorizados como remineralizadores de solo, apresenta-se como uma alternativa adequada para a manutenção da fertilidade do solo e, com isso, favorece a produção agrícola (Manning e Theodoro, 2018) e de alimentos saudáveis. Pesquisas têm demonstrado que os pós de rocha liberam, lentamente, grandes quantidades de nutrientes às plantas, podendo elevar a CTC de solos de baixa fertilidade (Blum et al., 1989 a b), os teores de cátions trocáveis e o pH do solo (Von Fragstein et al., 1988), sendo esses efeitos mais intensos em rochas vulcânicas básicas, como basalto. Na Alemanha, a aplicação

de 10 t ha⁻¹ de basalto, nas Florestas Negras, aumentou os teores de Ca e Mg e o pH do solo (Hildebrand e Scharck-Kirchner 2000). Van Straaten (2006) ressalta que, em clima tropical, o uso de pó de rocha tem grande potencialidade, uma vez que as taxas de dissolução dos minerais e as reações que ocorrem nas suas áreas mais superfícies e a solução do solo são aumentadas sob alta temperatura, e regime de umidade alta. Desta forma, mediante a atuação do PRB nos solos, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação de diferentes doses de pó de rocha de basalto (PRB), a lanço, após o plantio de cana de ano, advindo de uma pedreira da região de Embaúba-SP, com características adequadas de granulometria, composição mineralógica e físico-química, para uso agrícola, conforme o Decreto N° 4954/2004 e as Instruções Normativas N° 53/2013, N° 05/2016, N° 06/2016, e avaliar, também, o PRB como remineralizador de solo, verificando incrementos positivos no desenvolvimento e crescimento inicial da referida cultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em uma área agrícola, no município de Bebedouro - SP, de localização dada pelas coordenadas geográficas: latitude 21° 0' 45.504" S e longitude 48° 37' 38.028W, com altitude de aproximadamente 527 metros, e clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen (SETZER, 1966). Os tratamentos com pó de rocha de basalto (PRB) foram adicionados ao padrão de adubação adotado na propriedade, para plantio e condução de cana-de-açúcar de ano, caracterizados pela correção com 1,0 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 85%), e as adubações de plantio com 500 kg ha⁻¹ de 04-24-06 (06/12/2019), de cobertura com 450 e 360 kg ha⁻¹ de 20-05-20 (05/03/2020), para testemunha e tratamentos com PRB (redução de 20% da adubação de cobertura), respectivamente. Foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com quatro (4) repetições e cinco (5) doses de pó de rocha de basalto (PRB). As características físico-químicas descritas do PBR estão, a seguir, apresentadas, no QUADRO 01. Em relação à granulometria, o produto final apresentou os seguintes percentuais e frações granulométricas: 100% <2,0 mm; 25% <0,84>0,3mm e 75% <0,3mm.

Quadro 01. Composição físico-química, contendo os elementos potencialmente tóxicos, óxidos majoritários, LOI, pH de abrasão e umidade do pó de rocha de basalto, de acordo com a IN n°05/2016 do MAPA. UNESP, 2020.

PÓ DE ROCHA DE BASALTO - EMBAÚBA-SP									
As	Cd	Pb	Hg	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	TiO ₂
ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%
<1	0,03	1,60	<0,05	49,70	12,60	14,10	10,00	5,30	1,93
P ₂ O ₅	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	Cu	Mo	Zn	LOI	pH abrasão	umidade
%	%	%	%	ppm	ppm	ppm	%	-	%
0,21	2,32	1,05	0,21	240,80	0,41	52,00	1,85	9,71	1,77

O controle de plantas daninhas foi realizado com herbicidas pré-emergentes, em única aplicação, após plantio. As doses de PRB foram distribuídas por aplicador pendular, acoplado ao trator, modelo Vicon®, vinte dias após o plantio (sistema de toletes). As parcelas tinham dimensões de 13 m x 7,5 m, totalizando cinco linhas, espaçadas em 1,5 m, sendo consideradas as linhas do meio como área útil da parcela, contemplando cinco (5) tratamentos: T1 - 500 kg ha⁻¹ (04-24-06) + 450 kg ha⁻¹ (20-05-20) + 0,0 t ha⁻¹ PRB; T2 - 500 kg ha⁻¹ (04-24-06) + 360 kg ha⁻¹ (20-05-20) + 2,5 t ha⁻¹ PRB; T3 - 500 kg ha⁻¹ (04-24-06) + 360 kg ha⁻¹ (20-05-20) + 5,0 t ha⁻¹ PRB; T4 - 500 kg ha⁻¹ (04-24-06) + 360 kg ha⁻¹ (20-05-20) + 7,5 t ha⁻¹ PRB; T5 - 500 kg ha⁻¹ (04-24-06) + 360 kg ha⁻¹ (20-05-20) + 10,0 t ha⁻¹ PRB. O solo utilizado de base para o cultivo foi um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico - PVAe (EMBRAPA, 2018), com as seguintes características químicas (TABELA 01):

Tabela 01. Análise química de rotina com macronutrientes - A, análise química de micronutrientes - B e Textural - C do solo, 60 dias antes da instalação do experimento. UNESP, 2020.

A*	pH	M.O.	P	S	Ca	Mg	K	Al	H+Al	Soma Bases	CTC	Sat. Baese	Sat. Al
Prof. (cm)	CaCl ₂	g dm ⁻³	---mg dm ⁻³ ---	-----mmol _c dm ⁻³ -----							%	%	
0-25	4,8	13,0	7,0	7,0	14,0	7,0	1,2	1,0	20,0	22,2	42,2	52,6	4,3
25-50	5,0	13,0	9,0	6,0	14,0	7,0	1,0	0,0	20,0	22,0	42,0	52,4	0,0
B*	Si	B	Co	Fe	Mn	Zn	C*	ARGILA	SILTE	AREIA			
-----mg dm ⁻³ -----							-----g kg ⁻¹ -----						
0-25	8,4	0,33	2,2	21	3,8	1,2	0-50	125	91	784			
25-50	8,0	0,26	1,8	19	4,4	0,9	prof.(cm)						

Para análises não destrutivas da cultura da cana-de-açúcar, quanto ao desenvolvimento e crescimento inicial, aos 45 dias após a aplicação do PR, foram avaliadas as variáveis agrônômicas e números de perfilhos por metro linear (NP m⁻¹), contado, nas duas linhas centrais de cada parcela, a altura das plantas (ALT PLANT), determinada com uso de fita métrica, e considerando a região do colo da planta até a folha +1 (em cm); diâmetro do colmo (DC), dado no terço médio de cada planta (em mm), e índice de área foliar estimado por planta (IAF), considerando o comprimento e a largura da folha +3, junto ao número de folhas verdes por planta (em cm²), ambos estimados em 4 plantas por parcela de duas linhas da área útil da parcela. Os dados obtidos passaram pela análise de variância, por meio do teste F e, quando apresentaram significância a 5% de probabilidade, foram realizadas as regressões polinomiais, para o efeito das doses do pó de rocha de basalto (PRB). O software estatístico utilizado foi o AgroEstat (2015).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve efeito significativo do fator de tratamento para todas as variáveis avaliadas (Tabela 02). O número de perfilho por metro (NP m^{-1}) apresentou modelo quadrático, com os maiores valores médios obtidos na dose de $6,12 \text{ t ha}^{-1}$ (dose de máxima eficiência técnica - DMET) (TABELA 02A). Com base na equação quadrática, o número de perfilhos por metro, na DMET, foi 30,4. Doses inferiores ou superiores a esta interferiram negativamente nesta variável (FIGURA 01 - A). A determinação, apesar de precoce, apenas 45 dias após a aplicação dos tratamentos, considerando o espaçamento de 1,5 m entre linhas de plantio, permite estimar um número de colmos por hectare (colmos ha^{-1}) a 154.600, e o T1 a apenas 109.134 colmos ha^{-1} , aproximadamente. Já em relação ao T5, houve redução neste número, com cerca de 139.533 colmos ha^{-1} . A condição dada pelo NP m^{-1} é um fator importante na produção e longevidade dos canaviais e espera-se que, com uso de PRB, possa ser mantida no decorrer do cultivo e de suas possíveis rebrotas. Em relação à altura de plantas (ALT PLANT), a resposta foi linear, indicando possíveis aumentos em doses maiores do que $10,0 \text{ t ha}^{-1}$. Em relação à adubação padrão, adotada na propriedade, o tratamento com 10 t ha^{-1} proporcionou aumento de 31,3% nesta variável (45,76 para 60,10 perfilhos por m^2). É um dado relevante, se considerarmos que, para avaliações futuras, plantas mais altas possuirão colmos com maior número de entrenós e, possivelmente, um maior peso de colmos ha^{-1} (FIGURA 01 - B). Se somados aos dados do NP m^{-1} , podem garantir uma boa produção e melhor estabilidade de colmos, durante o desenvolvimento e crescimento inicial da cultura.

Tabela 02. Análise de variância ($\text{Pr}>\text{F}$; $\text{Pr}>\text{BL}$), diferença média significativa (DMS) e coeficiente de variação (CV%), para o número de perfilhos por metro (NP m^{-1}), altura de planta (ALT PLANT), diâmetro de colmo (DC) e do índice de área foliar estimado (IAF), aos 45 dias após aplicação, a lanço, de pó de rocha de basalto (PRB), sob diferentes doses, em cana planta (de ano). UNESP, 2020.

Tratamentos ⁽¹⁾	NP m^{-1}	ALT PLANT (cm)	DC (mm)	IAF (cm^2)
$\text{Pr}>\text{F}^{(2)}$	0,001*	0,0003*	0,0001*	0,0001*
DMS ⁽³⁾	3,98	7,42	3,87	495,01
CV (%) ⁽³⁾	8,39	6,22	1,34	18,25

Com base nessas informações, é provável que as quantidades de Ca, Mg e micronutrientes presentes no pó de rocha de basalto (PBR) possam estar influenciando nas respostas dadas pelos resultados, sendo esta uma abordagem relevante para próximas pesquisas. Além dos baixos custos de aquisição e diminuição dos impactos ambientais causados por fertilizantes inorgânicos e pelo controle de um passivo ambiental da mineração, com uso dessa tecnologia, segundo Resende et al. (2006), tem-se a liberação de nutrientes das rochas de forma lenta e gradual, o que reduz as perdas por lixiviação e favorece uma liberação a longo prazo, com materiais alcalinizantes atuando como condicionadores de solos. Essa condição favorece as culturas implantadas nesses solos.

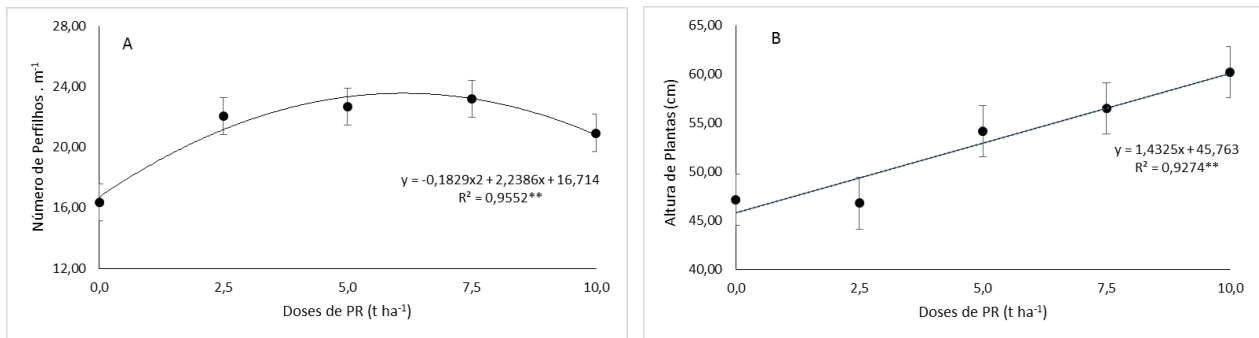


Figura 01. Número de perfis por metro (NP m⁻¹) – A e Altura de Plantas (ALT PLANT) – B, após aplicação de doses do pó de rocha de basalto, no desenvolvimento e crescimento inicial de cana planta de ano. UNESP, 2020.

Os dados observados para o diâmetro de colmos (DC) também apresentaram resposta linear, sendo os maiores valores médios obtidos no T5, com aumento de 21,4% em relação ao tratamento testemunha (15,31 para 18,59 mm) (FIGURA 2 – A). Tal variável auxilia no incremento do peso dos colmos e, por meio das doses aplicadas de PRB, pode-se observar um aumento significativo do DC, conseqüentemente, outro fator de importância para a garantia de aumentos na produção desta cultura.

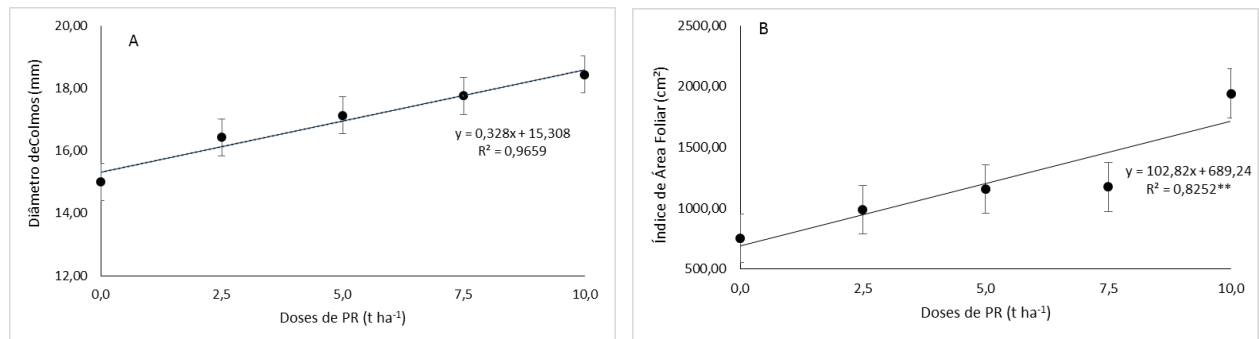


Figura 02. A. Diâmetro de colmos (DC) - e Índice de Área Foliar estimado - B, após aplicação de doses do pó de rocha de basalto, no desenvolvimento e crescimento inicial de cana planta de ano. UNESP, 2020.

O índice de área foliar estimado (IAF) também foi influenciado linearmente pelo fator dose, com incremento de 149,2% (689,24 para 1.717,44) (FIGURA 02 - B). A área foliar é importante característica agrônômica, uma vez que considera a concentração de luminosidade recebida e que poderá ser convertida em fotoassimilados para a planta. No caso da cana-de-açúcar, por se tratar de uma C4, em termos metabólicos e fisiológicos de compensação de energia, este ganho é linear, e quanto maior o IAF estimado, maior a capacidade de desenvolvimento e crescimento da planta.

CONCLUSÕES

A dose de máxima eficiência técnica de pó de rocha de basalto (PRB), para a variável número de perfilhos, foi de 6,12 t ha⁻¹. Doses de até 10,0 t ha⁻¹ de PBR, combinadas com a redução de 20% na adubação de cobertura, promoveram aumentos lineares dos parâmetros: altura de planta, diâmetro de colmo e IAF de plantas de cana-de-açúcar, no plantio de ano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARBOSA J.C.; MALDONADO JUNIOR, W. AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos. Jaboticabal, FCAV/UNESP. 396p, 2015.
- BLUM W.E.H.; HERBINGER, B.; MENTLER, A.; OTTNER, F.; POLLAK, M.; UNGER, E.; WENZEL, W.W. 1989a. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. I. Chemisch-mineralogische Zusammensetzung und Eignung von Gesteinsmehlen als Düngemittel. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 152: 421–425.
- BLUM, W.E.H.; HERBINGER, B.; MENTLER, A.; OTTNER, F.; POLLAK, M.; Unger, E.; WENZEL, W.W. 1989b. Zur Verwendung von Gesteinsmehlen in der Landwirtschaft. II. Wirkung von Gesteinsmehlen als Bodenverbesserungsmittel. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*, 152: 427–430.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. Métodos de Análise Química, Mineralógica e Física de Solos do Instituto Agrônomo de Campinas. Campinas, Instituto Agrônomo, 2009. 77 p. (Boletim técnico, 106, Edição revista e atualizada).
- EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. SANTOS, H. G. et al. (Coord.) 5.ed., rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- FAO, The state of food security and nutrition in the world 2019. *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Home, Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca5162en/ca5162en.pdf>. Acesso em jul, 2020.
- HILDEBRAND, E.E.; Schack-Kirchner, H. 2000. Initial effects of lime and rock powder application on soil solution chemistry in a dystic cambisol results of model experiments. *Nutrien Cycling in Agroecosystems*, 56:69–78.
- KNAPIK, J.G. *Utilização do pó de basalto como alternativa à adubação convencional na produção de mudas de Mimosa scabrella BENTH e Prunus sellowii KOEHNE*. Curitiba, 2005. 163 f. dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.
- MANNING, D.A., 2018. Innovation in resourcing geological materials as crop nutrients. *Nat. Resour. Res.* 27, 217–227. <https://doi.org/10.1007/s11053-017-9347-2>.
- MANNING, D.A., THEODORO, S.H., 2018. Enabling food security through use of local rocks and minerals. *Ext. Ind. Soc.* 5, 1e8. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.11.002>.
- RESENDE, M. et al. *Pedologia: base para distinção de ambientes*. Viçosa, 2002. 338 p.
- SETZER, J. *Atlas Climático e Ecológico do Estado de São Paulo*. Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí, 1966. 61p.
- SILVA, B.; PARADELO, R.; VÁZQUEZ, N. et al. Effect of the addition of granitic powder to an acidic soil from Galicia (NW Spain) in comparison with lime. *Environ Earth Sci*, 429–437, 2013.

VAN STRAATEN, P. 2006. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 78:731-747.

THEODORO, S.H.; LEONARDOS, O.H.; ROCHA, E.; MACEDO, I.; REGO, K.G. Stonemeal of amazon soils with sediments from reservoirs: a case study of remineralization of the tucuruí degraded land for agroforest reclamation. *An Acad. Bras. Ciências* 85, 23e34, 2013.

VON FRAGSTEIN, P.; PERTL, W.; VOGTMANN, H. 1988. Verwitterungsverhalten silikatischer Gesteinsmehle unter Laborbedingungen. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*, 151:141-146. BRANTLEY, S. L.; OLSEN, A.A. Reaction kinetics of primary rock-forming minerals under ambient conditions. Treatise on Geochemistry (2nd Edition). p 69-133. 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-095975-7.00503-9>

PRODUTIVIDADE E COMPONENTES DE PRODUÇÃO DA SOJA ADUBADA COM PÓ DE BASALTO

ALESSANDRA MAYUMI TOKURA ALOVISI¹; WILLIAN LANGE GOMES¹; ALEXANDRE ALVES ALOVISI¹; JOÃO AUGUSTO MACHADO DA SILVA¹; ROBERVALDO SOARES DA SILVA¹; CLEIDIMAR JOÃO CASSOL¹; GIULIANO REIS PEREIRA MUGLIA¹; LAURILAINE AZUAGA VILLALBA¹; MILENA SANTO PALHANO SOARES¹; MARIANA MANZATO TEBAR¹; REALDO FELIX CERVI¹; RODRIGO BASTOS RODRIGUES¹; ADAMA GNING¹

¹ Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) Endereço(s) Rodovia Dourados-Itahum, km 12 - Caixa Postal 533, CEP:79 804 970 Dourados, MS). E-mail: alessandraalovisi@ufgd.edu.br; willianlange@live.com; alves.snpconsultoria@gmail.com; joamachado@ufgd.edu.br; robervaldo.soares@yahoo.com.br; cleidimar_cassol@hotmail.com; giulainorpm2@hotmail.com; laurilaine.villalba040@academico.ufgd.edu.br; milena_palhano@hotmail.com; marianatebar19@gmail.com; cervirealdo@gmail.com; rodrigob.rodrigues@hotmail.com; gningadama83@gmail.com

Resumo:

O incremento da produtividade agrícola deve ser aliado ao avanço tecnológico no conhecimento das exigências nutricionais das plantas. Objetivou-se com o presente estudo pesquisar a resposta de plantas de soja, após uso de pó de basalto associado, ou não, com adubação química adicional. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com distribuição em esquema fatorial (5x2), sendo cinco doses de pó de rocha (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 Mg ha⁻¹), com adição, ou não, de adubação química (com e sem), com quatro repetições. O experimento foi realizado em condição de campo. As variáveis analisadas foram: diâmetro do coleto, altura de plantas, número de vagens por planta e produtividade. Altura de plantas e diâmetro do coleto da soja foram influenciadas pela adição do pó de rocha, com maiores valores de altura e diâmetro de coleto observados com a adição de 2,5 Mg ha⁻¹ de pó de basalto. A produtividade da cultura da soja foi influenciada pela adição de pó de basalto, com produtividade máxima obtida na dose de 8,3 Mg ha⁻¹.

Palavras-chave: *Glycine max* L.; Remineralizador; Rochagem

INTRODUÇÃO

Para diminuir a dependência que pesa sobre produtores e sobre a balança comercial do Brasil, a pesquisa agrícola nacional está desenvolvendo e incentivando o uso de fontes alternativas de nutrientes. Dentre as fontes alternativas, está sendo pesquisado e incentivado o uso de pós de

rochas como fontes de nutrientes, técnica denominada de rochagem ou remineralização natural dos solos (Sékula, 2011).

A rochagem é uma técnica de fertilização baseada na adição de pó de determinados tipos de rocha ou minerais, com a capacidade de alterar positivamente a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio ambiental (Pádua, 2012). É possível encontrar na literatura: agrominerais, pó de rocha, petrofertilizantes, remineralização, como sinônimos para rochagem (Martins, 2010; Theodoro e Leonardos, 2006).

Dentre as rochas disponíveis para o emprego na agricultura está o basalto, rocha básica, de origem vulcânica, afanítica, na qual a maior parte dos cristais é invisível a olho nu (Santos, 1976). Os principais constituintes do basalto são minerais aluminosilicatos do grupo dos piroxênios e plagioclásios, pouco resistentes ao intemperismo químico e importantes fontes de Ca, Mg e micronutrientes. Normalmente, as rochas compostas por aluminosilicatos possuem quantidades variáveis de diversos nutrientes, que podem se apresentar na forma de compostos, com maior ou menor facilidade de solubilização, dependendo do teor total e da cinética de dissolução dos minerais (Machado et al., 2005).

Os altos preços dos fertilizantes aliados ao baixo investimento do governo na indústria nacional de fertilizantes e aspectos contaminantes, como o carreamento dos nutrientes por água da chuva e/ou da irrigação para rios e lençóis freáticos, faz necessária a busca por fertilizantes alternativos que possuam tanto macro como micronutrientes, e, principalmente, que apresentem um baixo custo, enquadrando-se perfeitamente à rochagem, nestes aspectos (Luchese et al., 2002).

Deste modo, o uso do pó de rocha poderia contribuir de modo mais complexo e equilibrado, com adição de macro e micronutrientes aos solos intensamente lixiviados. Macronutrientes como Mg, Ca, K e P podem ser encontrados em basaltos, dunitos, sienitos, dolomitos, fosforitos, entre outros (exceção do nitrogênio). Geralmente, também apresentam elementos como Co, Zn e Cr (Van Straaten, 2006).

Segundo Alovisi et al. (2017), o pó de basalto pode ser considerado uma fonte alternativa de fertilizante e corretivo do solo, entretanto, apresenta baixa liberação dos nutrientes, portanto, não recomendado como a principal fonte de nutrientes para as plantas.

Dessa forma, objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito da rochagem sobre a produtividade e componentes de produção da cultura da soja.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado em condição de campo, na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), na safra 2018/2019, no município de Dourados, MS, com as coordenadas geográficas: longitude oeste 54°59'13" W, latitude sul 22°14'08" S e altitude 434 m.

O clima de Dourados foi classificado como Cwa, clima úmido de inverno seco. As médias de temperatura são de 22°C e a precipitação varia entre 500 mm e 1500 mm anuais (Fietz et al., 2017).

O solo da área foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, de textura argilosa (Santos et al., 2013). O solo foi coletado nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Após a coleta e preparo, as amostras foram submetidas a análises químicas, de acordo com a metodologia de Claessen (1997), obtendo: pH (CaCl₂): 5,4 e 4,7; pH (água): 6,0 e 5,5; P (mehlich-1): 13 e 6 mg dm⁻³; K: 5,1 e 2,3 mmol_cdm⁻³; Ca: 47 e 29 mmol_cdm⁻³; Mg: 23 e 14 mmol_cdm⁻³; H+Al: 43 e 55 mmol_cdm⁻³; SB: 75 e 45 mmol_cdm⁻³; CTC: 118 e 101 mmol_cdm⁻³ e V: 63 e 45%, respectivamente nas camadas de 0-10 e 10-20 cm.

A área na qual se encontrava o experimento era anteriormente ocupada pela cultura do milho. Após a colheita do milho, a área foi submetida a uma aração e duas gradagens niveladoras, para destorroamento e incorporação dos restos culturais.

O pó de rocha aplicado ao solo é de uma rocha basáltica, oriunda da empresa Mineradora Tozzi Junqueira Ltda – ME (Pedreira Esteio), situada no município de Itaporã – MS. Foi utilizado material residual fino, resultante da operação de britagem. A granulometria do pó de basalto aplicado no experimento está em acordo com as normas da ABNT para classificação de corretivos e fertilizantes, sendo que 100% do produto passou em peneira de malha 0,84 mm e 50% em peneira de malha 0,3 mm. O valor de pH (suspensão 1:1) do material é de 9,7 e a composição química total da rocha basáltica é de: SiO₂: 51,4%, CaO: 8,32%, MgO: 3,58%, K₂O: 3,42%; Zn: 56,5 mg kg⁻¹, Cu: 182 mg kg⁻¹, Ni: 3,77 mg kg⁻¹, B: 107 mg kg⁻¹, Cl: 798 mg kg⁻¹, Co: 9,65 mg kg⁻¹, Fe: 22.000 mg kg⁻¹, Mn: 394 mg kg⁻¹, os elementos Cd, As, Pb, Hg e Mo se encontravam abaixo da faixa de quantificação. Os elementos macro e traço foram determinados por espectrometria de emissão, ICP. O material foi aplicado manualmente na superfície das parcelas, 30 dias antes da semeadura da soja, sem incorporação.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, utilizando-se de 4 repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de pó de rocha basáltica (0, 2,5, 5,0, 7,5, 10 Mg ha⁻¹), com e sem adubação química adicional. Os tratamentos foram identificados como: T1 (controle); T2 (sem adição do pó de rocha + adubação química adicional); T3 (2,5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e sem adubação química adicional); T4 (2,5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e com adubação química adicional); T5 (5,0 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e sem adubação química adicional); T6 (5,0 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e com adubação química adicional); T7 (7,5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e sem adubação química adicional); T8 (7,5 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e com adubação química adicional); T9 (10 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e sem adubação química adicional); T10 (10 Mg ha⁻¹ de pó de rocha e com adubação química adicional).

Antes da semeadura, as sementes foram inoculadas com uma mistura das estirpes de *Bradyrhizobium japonicum*. A semeadura da soja, variedade Monsoy 6410, foi realizada no dia 14

de novembro de 2018, com semeadora adubadora modelo Semeato, equipada com sete linhas, na densidade de semeadura de 16 plantas m^{-1} . A parcela foi constituída por sete linhas espaçadas entre si de 0,45 m (3,15 m), com 5 metros de comprimento, com área total da parcela de 15,75 m^2 . Nas parcelas em que os tratamentos constituíam de adubação química complementar foi adicionado a dose de 200 $kg\ ha^{-1}$ da fórmula 5-25-6.

O controle de plantas daninhas foi realizado com o herbicida glifosato, na dose de três litros por hectare. O controle de percevejos foi feito com o inseticida Tiametoxam + Lambda-Cialotrina, na dose de 200 $ml\ ha^{-1}$.

As variáveis analisadas foram: altura da planta (ALT), diâmetro do coleto (DC), número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos (PROD) e teor de nutrientes foliares. Altura de planta: antes da colheita, a altura da planta de soja foi determinada a partir de cinco plantas, com régua graduada em centímetros, tomando-se a distância ente o nível do solo e o ápice da planta. Diâmetro de coleto: antes da colheita, o diâmetro do coleto da planta de soja foi determinado, a partir de cinco plantas, com paquímetro em milímetros. Número de vagens por planta: antes da colheita, foram amostradas cinco plantas por parcela, e em seguida, a contagem do número de vagens, com os valores representando a média de vagens por planta.

Produtividade de grãos: foi determinada amostrando-se uma área de 4,5 m^2 , dentro de cada parcela. Após a trilha das plantas em trilhadora estacionária e limpeza dos grãos, as amostras foram colocadas em estufa de ventilação forçada e corrigida a umidade para 13%, posteriormente, foram pesadas em balança digital.

Os resultados obtidos, em cada variável analisada, foram submetidos à análise de variância, e as médias dos tratamentos, comparadas pelo Teste t de Student a 5%, utilizando o programa estatístico Sisvar (Ferreira, 2014). Os dados das doses de pó de rocha, significativos, foram submetidos, também, a análise de regressão realizada pelo programa estatístico SAS (SAS, 1985). Os modelos para ajustes das equações foram escolhidos com base no coeficiente de determinação e na sua significância ($p < 0,10$).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estado nutricional da soja

Somente houve efeito significativo ($p < 0,01$) das doses de pó de basalto para o teor de P (Figura 1). Na análise do estado nutricional das plantas de soja, os teores de N, K, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn estão dentro dos níveis de suficiência proposto por Sfredo et al. (1986).

Observa-se redução do teor foliar de P de forma linear (Figura 5). Entretanto, quando estima-se o teor de P na maior dose de pó de basalto (10 $Mg\ ha^{-1}$), obtém-se o valor de 2,63 $g\ kg^{-1}$ de P,

valor este considerado suficiente para o desenvolvimento da cultura da soja (Sfredo et al., 1986), ou seja, mesmo adicionando 10 Mg ha⁻¹ de pó de basalto, o teor foliar de P se mantém na faixa adequada para o desenvolvimento da cultura.

Devido aos teores dos nutrientes nos solos se encontrarem adequados para o crescimento e desenvolvimento da cultura da soja, antes da implantação do experimento, não ocorreu resposta da soja às doses de pó de basalto e adubação, refletindo na não significância dos tratamentos.

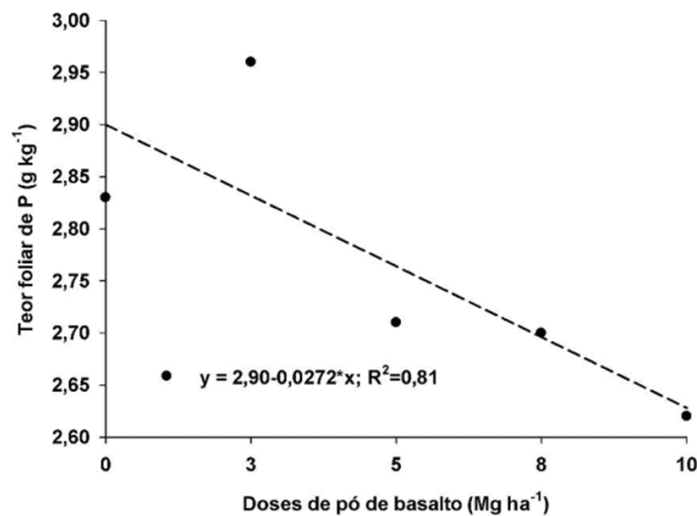


Figura 1. Teor foliar de fósforo na cultura da soja, em relação a doses de pó de basalto, Dourados – MS, 2019. *: significativo a 5%.

VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS, COMPONENTES DE PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE DA SOJA

Houve efeito isolado de doses de pó de basalto somente para as variáveis altura de planta ($p < 0,01$), diâmetro de coleto ($p < 0,05$) e produtividade ($p < 0,10$), (Figuras 2a, 2b e 2c, respectivamente). Para número de vagens não houve diferença entre os tratamentos, obtendo como média 74 vagens por planta.

Os dados de altura de plantas se ajustaram ao modelo polinomial, obtendo altura máxima de plantas de 84,4 cm, estimado na dose 2,25 Mg ha⁻¹ de pó de basalto (Figura 2a).

Os dados de diâmetro do coleto se ajustaram ao modelo polinomial, obtendo diâmetro máximo de 7,9 mm, estimado na dose 2,54 Mg ha⁻¹ de pó de basalto (Figura 2b). O diâmetro máximo pode ser justificado pela menor população de plantas no tratamento com dosagem 2,5 Mg ha⁻¹, avaliado pelo número de plantas por metro, dentro de cada parcela. Essa hipótese corrobora

com Gewehr et al. (2014), que verificaram que o aumento do número de plantas por hectare ocasionou plantas com menor diâmetro do coleto.

Para a variável produtividade, os dados se ajustaram ao modelo polinomial, obtendo-se produtividade máxima de 4028 kg ha⁻¹ estimado na dose 8,33 Mg ha⁻¹ de pó de basalto (Figura 2c). Esse resultado pode ser explicado pelas melhorias nos atributos químicos do solo com a aplicação do pó de basalto, principalmente pela melhoria no pH. Theodoro et al. (2010) afirmam que rochas básicas, como o basalto, possuem maior efeito alcalinizante, atuando na correção do solo, de modo a garantir maiores disponibilidades de nutrientes no solo para absorção das plantas.

Os dados apresentados referem-se aos principais resultados observados na primeira safra, após a aplicação do pó de basalto no cultivo de soja. Vale ressaltar que os experimentos são permanentes e continuam sendo amostrados e analisados, periodicamente. Essa é a estratégia do estudo, para que se obtenha informações de ao menos dois anos de monitoramento dos efeitos do pó de basalto no solo da região e nas culturas previamente definidas.

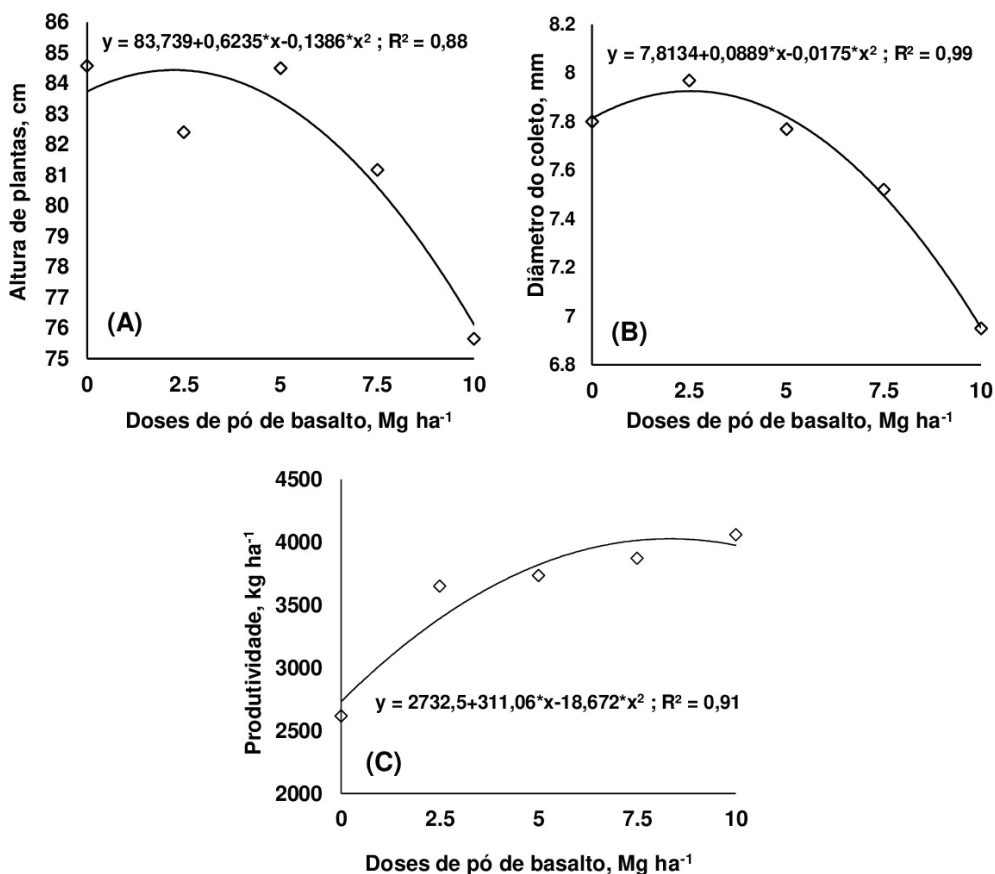


Figura 2. Altura de plantas (A), diâmetro do coleto (B) e produtividade da cultura da soja (C), em relação a doses de pó de basalto, Dourados – MS, 2019. *: significativo a 5%.

CONCLUSÕES

Altura de plantas e diâmetro do coleto da soja foram influenciados pela adição do pó de basalto, com maiores valores de altura e diâmetro de coleto observados com a adição de 2,5 Mg ha⁻¹ de pó de basalto. A produtividade da cultura da soja foi influenciada pela adição de pó de basalto, com produtividade máxima obtida na dose de 8,3 Mg ha⁻¹.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALOVISI, A. M. T.; FRANCO, D.; ALOVISI, A. A.; HARTMANN, C. F.; TOKURA, L. K.; SILVA, R. S. da. Atributos de fertilidade do solo e produtividade de milho e soja influenciados pela rochagem. Edição Especial: II Seminário de Engenharia de Energia na Agricultura. *Acta Iguazu*, v. 6, n. 5, p. 57-68, 2017. ISSN: 2316-4093
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e Agrotecnologia*. [online]. 2014, v. 38, n.2 [citado 2015-10-17], pp. 109-112. Disponível em: ISSN 1413-7054. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.
- FIETZ, C. R.; FISCH, G. F.; COMUNELLO, E.; FLUMIGNAN, D. L. **O clima da região de Dourados, MS**. 3 ed. rev. Atual. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2017. (Documentos, 138).
- GEWEHR, E.; FONSECA, D. A. R.; RODRIGUES, G. F.; CORREA, O. O.; KONZEN, L. H.; CHAGAS, H. L.; SCHUCH, L. O. B.; VERNETTI JUNIOR, F. J. Influência da População de Plantas: Caracterização Morfológica de Cultivares de Soja em Solos de Várzeas Irrigação por Aspersão. In: 40ª REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA DA REGIÃO SUL - **ATAS E RESUMOS**. Pelotas: Embrapa, jul. 2014.
- LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E. **Fundamentos da química do solo, teoria e prática**. Rio de Janeiro: Freitas bastos, 2002. 182p.
- MACHADO, C. T. T.; RESENDE, A. V.; MARTINS, E. S.; SOBRINHO, D. A. S.; NASCIMENTO, M. T.; FALEIRO, A. S. G.; LINHARES, N. W.; SOUZA, A. L.; CORAZZA, E. J. (2005) Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II. Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 30. Recife, **Anais**. Recife: UFRPE/SBCS. (CD-rom).
- MARTINS, E. S. **Uso potencial de rochas regionais como fontes de nutrientes e condicionador do solo**. Jataí: EMBRAPA Cerrados, 2010.
- PÁDUA, E. J. **Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas**. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- SANTOS, A. M. Alguns dados geoquímicos sobre solos do Brasil: uso potencial do pó de pedreira como fonte de nutrientes críticos em solos altamente lixiviados. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 29, Ouro Preto, SBG. **Boletim de resumos**, p.160-161. 1976.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3.ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- SAS - SAS, 1985. **User's guide: Statistics**, version 5 Edition. Cary, NC: SAS Institute. 1985.
- SÉKULA, C. R. **Características químicas do solo e produção de grandes culturas com rochagem e biofertilizantes**. 2011. 52p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Centro – Oeste, Unicentro – PR – PPGA. 2011.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F.; CAMPO, R. J.; BORKERT, C. M. **Soja, nutrição mineral, adubação e calagem.** Londrina: EMBRAPA-CNPSo. 1986. 21 p. (EMBRAPA-CNPSo, Documentos, 64).

THEODORO, S. C. H.; LEONARDOS, O. H. Sustainable farming with native rocks: the transition without revolution. **Anais da Academia Brasileira de Ciências.** Rio de Janeiro/RJ, v. 78, n. 4, p. 715-720, 2006.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H.; ALMEIDA, E. Mecanismos para disponibilização de nutrientes minerais a partir de processos biológicos. In: MARTINS, E. S. THEODORO, S. H. Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem. Brasília – Embrapa, 2010. p. 173-181.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Anais da Academia Brasileira de Ciências,** v. 73, n. 4, p. 731-747. 2006.

RESUMOS SIMPLES – SESSÃO DE PÔSTERS

PRATICABILIDADE E EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DO SAIBRO NA PRODUÇÃO DE TOMATE RASTEIRO

Adilson Celimar Dalmora¹, Luis Felipe Silva Oliveira², Ivo André Homrich Schneider¹, Rubens Muller Kautzman³, Claudete Gindri Ramos²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) adilsondalmora@hotmail.com; ivo.andre@ufrgs.br;

²Universidad de la Costa (CUC) cgindri@cuc.edu.co ; lsilva8@cuc.edu.co ;

³Agência Nacional de Mineração (ANM) rubens.kautzmann@anm.gov.br .

Na safra 2018/2019 realizou-se um experimento no município de Santa Maria/RS com o objetivo de avaliar a eficiência e a praticabilidade agronômica do uso de produto com a função de remineralizador de solo (saibro), influenciando nos componentes de rendimento da cultura do tomate rasteiro (*Solanum lycopersicum*), quando aplicado por 60 dias antecedendo o transplante da cultura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso com seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram aplicados no dia 30/12/2018 e o transplante ocorreu no dia 27/02/2019. De acordo com as condições na qual submeteu-se o experimento e analisando os resultados obtidos pode-se inferir que o uso do saibro como remineralizador de solo incrementou parâmetros como comprimento de raiz (cm), diâmetro de colmo (mm), massa verde e seca da parte aérea e raiz (g), número de flores/planta, número de frutos/planta e produtividade (kg ha⁻¹) na cultura do tomate cultivar Rio Grande (rasteiro). Para parte aérea, tanto massa verde como seca apresentaram uma diferença estatística significativa pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. O tratamento com dose de 1 t ha⁻¹ apresentou maior massa verde que a testemunha bem como os outros tratamentos, nas doses de 2,5, 3,5 e 4,5 t ha⁻¹. Para massa seca da parte aérea os tratamentos com doses de 2,5 e 4,5 t ha⁻¹ apresentaram maior massa seca que a testemunha e que os tratamentos com doses de 1,0 e 3,5, t ha⁻¹. Para massa verde de raiz, houve diferença estatística significativa pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro entre os tratamentos, onde os tratamentos com doses de 1,0 e 4,5 t ha⁻¹ apresentaram maior massa verde que a testemunha, que o tratamento com dose de 3,5 t ha⁻¹ e ainda igual ao tratamento padrão. Analisando as médias encontradas para a massa seca de raiz, observou-se que houve diferença estatística significativa pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro entre os tratamentos, onde os tratamentos com doses de 1,0 e 4,5 t ha⁻¹

apresentaram maior massa verde que a testemunha e os tratamentos com doses de 2,5 e 3,5 t ha⁻¹ e ainda igual ao tratamento padrão.

POTENCIAL GEOLÓGICO DO ESTADO DE SÃO PAULO NA PRODUÇÃO DE REMINERALIZADORES

Alcídio Pinheiro Ribeiro

Etec. alcidio.ribeiro@etec.sp.gov.br

No Estado de São Paulo há ocorrência de rochas ígneas e metamórficas, com grau de acidez muito variado. Do ponto de vista petrológico, tem-se desde ultrabásicas até ácidas, com termos que, juntos, ocupam integralmente as áreas dos diagramas de suas classificações e nomenclaturas. Com exceções de rochas metamórficas, como os filitos, talcos e algumas outras rochas exploradas, como minerais industriais (onde teores baixos de elementos químicos específicos para pigmentantes, abrasivos e de fundentes são exigidos) que são exploradas por suas propriedades como agregados para a construção civil. Nessa categoria importam as características de resistências físicas, como menores concentrações de finos nos ensaios de Abrasão Los Angeles, assim como de estruturas mineralógicas que possam desencadear reações indesejadas de álcalis-agregado na produção de concreto. Assim, para esse último universo, que é o mais numeroso em termos de concessões de lavra, porque atende um mercado majoritário nesse Estado, as rochas que são exploradas para produção de brita não são conhecidas senão e, principalmente, pelas suas propriedades físicas e resultados de ensaios de reações. Desse modo não se tem um conhecimento devido desse universo geológico, litológico, para um aproveitamento mais amplo, quando importam suas composições químicas modais e totais. O objetivo do presente trabalho é apresentar um mapa preliminar do universo litológico do estado de São Paulo, onde as rochas, por suas somas de bases e macroatômos, possam representar recursos minerais de valor para serem explorados como remineralizadores de solo.

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E COMPONENTES AGRONÔMICOS NA CULTURA DA SOJA PELO USO DO PÓ DE BASALTO

Alessandra Mayumi Tokura Alovisi¹, Willian Lange Gomes¹, Alves Alexandre Alovisi¹, João Augusto Machado da Silva¹, Robervaldo Soares da Silva¹, Cleidimar João Cassol², Giuliano Reis Pereira Muglia¹, Lauriane Azuaga Villalba¹, Milena Santo Palhano Soares¹, Mariana Manzato Tebar¹, Realdo Felix Cervi¹, Rodrigo Bastos Rodrigues¹, Adama Gning¹

¹Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Agrárias, Dourados-MS. E-mail: alessandraalovisi@ufgd.edu.br; willianlange@live.com; alves.snpconsultoria@gmail.com.br; joaomachado@ufgd.edu.br; robervaldo.soares@yahoo.com.br; giulianorpm2@hotmail.com; azuagalauri73@gmail.com; milena_palhano@

hotmail.com; marianatebar19@hotmail.com; cervirealdo@gmail.com; rodrigob.rodrigues@hotmail.com; gningadama83@gmail.com

²Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Exatas e Tecnológica, Dourados-MS. E-mail: cleidimar_cassol@hotmail.com

A aplicação de fontes alternativas de materiais que melhora as condições físicas, químicas, microbiológicas e mineralógicas de solos agrícolas é uma prática que vem ganhando cada vez mais importância no Brasil. Objetivou-se com o presente estudo avaliar os atributos químicos de solo e os efeitos na produção vegetal, após uso de pó de basalto associado ou não com adubação química adicional. O delineamento experimental utilizado no experimento foi o de blocos ao acaso, com distribuição em esquema fatorial (5x2), sendo cinco doses de pó de rocha (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 mg ha⁻¹), com adição ou não de adubação química e com quatro de repetições. O experimento foi realizado em condição de campo. As variáveis analisadas foram: diâmetro do coleto, altura de plantas, número de vagens por planta, produtividade e atributos químicos do solo nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. A adubação química influenciou os teores dos nutrientes e valores de SB, CTC, V%. A adição do pó de basalto contribuiu para aumento nos teores de Fe nas duas camadas de solo avaliadas, com incremento também de Cu e redução da V% na camada de 10-20 cm. Altura de plantas e diâmetro do coleto da soja foram influenciadas pela adição do pó de rocha, com maiores valores de altura e diâmetro de coleto observados com a adição de 2,5 Mg ha⁻¹ de pó de basalto. A produtividade da cultura da soja foi influenciada pela adição de pó de basalto, com produtividade máxima obtida na dose de 8,3 Mg ha⁻¹.

AVALIAÇÃO PRELIMINAR DO POTENCIAL AGROMINERAL NOS ESTADOS DE AMAZONAS E RORAIMA - BRASIL

Alessandra Elisa Blaskowski¹, Paulo Roberto Rodrigues Benevides Filho¹

1 - Serviço Geológico do Brasil - CPRM alessandra.blaskowski@cprm.gov.br; paulo.benevides@cprm.gov.br .

A busca por fertilizantes alternativos na região norte do país é fundamental devido ao alto custo logístico da região, que dificulta tanto a agricultura familiar, principalmente no Amazonas, quanto gera impacto no desenvolvimento do agronegócio de Roraima. Em 2019 o Serviço Geológico do Brasil - CPRM iniciou o *Projeto Avaliação do Potencial Agromineral do Brasil*, no qual se estabeleceu uma área nos estados de Roraima e Amazonas, ao longo da BR 174. Além da avaliação de rochas em unidades geológicas com potencial agromineral, a pesquisa teve o enfoque de avaliar materiais de descarte de minerações, os quais representam um aditivo mineral, que podem (desde que atendam as normas vigentes) se transformar em um insumo agrícola que atenda a demanda regional, com a vantagem de reduzir o passivo ambiental. As

amostras coletadas em lavras, garimpos e afloramentos foram encaminhadas para análises litoquímica, petrográfica e mineralógica. A área foi subdividida em dois polos regionais (Manaus e Boa Vista) onde também foram coletadas amostras provenientes de 10 pedreiras. A análise de dados permitiu destacar materiais com soma de base (SB) adequada, baixo teor de quartzo, sem restrição para os elementos potencialmente tóxicos e teores significativos de K e de micronutrientes. No Polo Manaus, a Pedreira da EBAM (com a operação iniciada em 2008) beneficia o quartzo monzodioritos e o monzonitos, cortados por diques de diabásio. O processo de beneficiamento gera um produto denominado “bica corrida” (granulometria <30mm) e pó de brita (granulometria <5mm), cujas as características geotécnicas não apresentam especificação para a aplicação na construção civil. Em abril de 2019, estes produtos somavam um volume de aproximadamente 225.000 m³. Nesta pedreira, as análises das rochas e do pó produzido apresentaram baixo teor de quartzo (aprox. 15%), a SB adequada (9,4% no pó de brita) e teores significativos de K₂O (3,5% no pó de brita). Por outro lado, a análise das rochas provenientes da Pedreira Samauma (Polo Manaus) revelou teores nas mesmas que não atenderam a IN 05/2016, em especial no quesito SB (com média de 6%). No Polo Boa Vista, a Pedreira do Roxinho explora uma rocha ornamental charnokítica (mangerito), ricas em feldspatos, com feições de alteração (mesopertita e plagioclásio) além de minerais ferromagnesianos, com SB igual a 9%, teores de quartzo abaixo de 10% e de K₂O de 5,5%. Nesse polo, ainda se destacam os derrames de basaltos da Formação Apoteri, que contam com uma lavra de grande porte nos arredores da capital Boa Vista. Estas rochas representam fontes de micronutrientes (Mg, Fe e Si) além de apresentar em sua composição mineral, zeolita, celadonita e calcita, o que as torna mais interessantes para uso na agricultura. Os resultados mostram que muitas rochas atendem aos critérios químico-mineralógicos da IN 05/2016 e estão aptas para a realização de ensaios agrônômicos. Entretanto, estas indicações carecem de mais etapas de campo e de laboratório. Os resultados finais serão publicados como um Informe de Recursos Minerais que irá conter Mapas indicando o Potencial Agromineral de cada região.

LIBERAÇÃO DE NUTRIENTES EM DUAS AMOSTRAS DE PÓ DE ROCHA DA SUÍTE ALCALINA PASSO DA CAPELA, RS

Andrea Sander^{1,3}; Magda Bergmann¹; Adilson Luis Bamberg²; Carlos Augusto Posser Silveira²; Maria Tarciana Pereira da Cruz³; Giovani Parisi¹; Cassiana Roberta Lizzoni Michelin⁴

¹Serviço Geológico do Brasil – CPRM - andrea.sander@cprm.gov.br; magda.bergmann@cprm.gov.br; giovani.parisi@cprm.gov.br

²Embrapa Clima Temperado. augusto.posser@embrapa.br ;

³Instituto Tecnológico em Micropaleontologia, itt FOSSIL, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. tarcianapacruz@gmail.com .

⁴Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Mineralogia e Petrologia. cassiana.michelin@ufrgs.br .

No Rio Grande do Sul, o distrito alcalino Suíte Alcalina Passo da Capela reúne condutos, domos e diques fonolíticos e tefríticos, de diâmetro restrito (200 a 800 m, com idades K-Ar de 99.3 a 76.0 Ma), intrusivos nos arenitos do Grupo Rosário do Sul e na Suíte Metamórfica Porongos. Devido às características de mineralogia potássica e da textura vulcânica, com abundante matriz afanítica, as rochas são promissoras para o uso como remineralizadores de solos, principalmente, como fontes de potássio. Essas rochas foram objeto de estudo do Projeto intitulado “Agrominerais do Rio Grande do Sul” coordenado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM. Em parceria com a Embrapa Clima Temperado de Pelotas, RS, amostras de onze destas chaminés alcalinas foram coletadas e submetidas à uma análise litoquímica, petrográfica e ainda testes agronômicos, este último, para determinação da eficiência de liberação de macro e micronutrientes às plantas. A análise petrográfica revelou uma mineralogia, em sua maioria de fonolitos e, secundariamente, classificada como tefritos. A textura geral é porfirítica, determinada por fenocristais isolados ou glomeroporfiríticos, de grão fino a médio (de 0,25 mm a 4,5 mm) de sanidina, clinopiroxênio, feldspatoides e granada. A matriz é fina a afanítica, constituída de cristais de sanidina e clinopiroxênio de grão fino (inferior a 0,25 mm), orientados pelo fluxo magmático, caracterizando a textura traquítica. A apatita e minerais opacos ocorrem como acessórios disseminados na matriz. A litoquímica permitiu a identificação de litologias passíveis para utilização como remineralizadores, embora algumas das chaminés não alcancem a soma de bases requerida pela IN 05/2016. A liberação de nutrientes foi avaliada por meio de ensaios de lixiviação em colunas para duas amostras da suíte, os quais foram realizados na Embrapa Clima Temperado (Pelotas, RS). A amostra A1 foi classificada como fonolito tefrítico e porfirítico, contendo teores de SiO_2 e K_2O , de 51,74% e 4,7%, respectivamente, enquanto que a amostra A2, um fonolito microporfirítico, continha 54,69% de SiO_2 e 6,48% de K_2O . Essas amostras apresentavam em sua composição mineralógica, sanidina, feldspatoide alterado, clinopiroxênio, granada, apatita, zircão e magnetita. A presença de quartzo não foi observada nestas amostras. Como minerais secundários, ocorrem carbonatos, zeolitas, clorita e sericita. A amostra A1 é composta por a 30% de fenocristais de sanidina e clinopiroxênio; enquanto a A2 apresenta-se mais mais intemperizada, com microfenocristais de sanidina e subordinadamente granada e micrólitos de piroxênio. A disponibilização de nutrientes observada, a partir dos ensaios de lixiviação para os dois solos testados (Latossolo e Planossolo) revelou uma baixa liberação de K, Ca e Mg. Uma maior liberação de nutrientes foi encontrada para a amostra A2 onde, possivelmente, deve-se às diferenças texturais e ao grau de sanidade das rochas. Complementando estes resultados, a análise de microscopia eletrônica com detector de dispersão em comprimento de onda (WDS), para uma das amostra de solo, utilizada em experimento, com a espécie *Tithonia diversifolia*, evidenciou a presença de micorrizas, bem como feições de dissolução dos minerais, provavelmente pela ação combinada dos intemperismos físico, químico e biológico.

ROCHAS COM POTENCIAL PARA REMINERALIZADORES DE SOLO EM MATO GROSSO**Amanda Moura de Souza, Ronaldo Pierosan; Antônio João Paes de Barros**

UFMT, Email: amandamoura0215@gmail.com; UFMT, E-mail: ronaldo.pierosan@gmail.com , METAMAT, E-mail: jpbbb@gmail.com;

A utilização de rochas para a agricultura tem se tornado recorrente nas últimas décadas devido o setor agrícola ser extremamente dependente de fertilizantes à base de potássio, fósforo e nitrogênio, que são importados. O estado do Mato Grosso é o principal produtor e exportador de soja, milho e algodão do país e, em 2019, os gastos com importação de fertilizantes foram de US\$ 405,24 milhões. A pesquisa de agrominerais e remineralizadores de solo nas áreas de geologia, agronomia e áreas afins tem evoluído em busca de novas alternativas para a redução nos custos com a produção de alimentos, além de prolongar a vida útil do solo. O presente trabalho visa a identificação de rochas que possuam potencial para uso como remineralizadores de solo. O estudo baseou-se em dados obtidos a partir da revisão da literatura. Para uma rocha ser considerada um remineralizador de solo é necessário que a mesma atenda aos parâmetros estabelecidos por lei e nas instruções normativas. A Lei nº 12.890/2013 conceitua remineralizadores como o material de origem mineral que tenha sofrido apenas redução e classificação de tamanho por processos mecânicos e que altere os índices de fertilidade do solo por meio da adição de macro e micronutrientes para as plantas, bem como promova a melhoria das propriedades físicas ou físico-químicas ou da atividade biológica do solo. O MAPA estabeleceu, a partir da instrução normativa Nº 5/2016 que os remineralizadores devem possuir uma soma de bases (CaO, MgO, K₂O) igual ou superior a 9% em peso/peso, K₂O superior a 1 % em peso/peso, não devem possuir quantidades de SiO₂ livre superiores a 25% em peso/peso, os elementos tóxicos não podem ser superiores à 15 ppm para Arsênio (As), 10 ppm cádmio (Cd), 0,1 ppm mercúrio (Hg), e 200 ppm para chumbo (Pb). as principais rochas estudadas com o foco para agricultura são rochas metamórficas como biotita - xistos, ígneas ultramáficas (kimberlitos), alcalinas (sienitos), básicas (basaltos e diabásios), dentre as sedimentares estão os calcários dolomíticos e fosforitos. No Mato Grosso há uma grande amplitude de rochas mapeadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) que podem apresentar bons resultados para o ramo como Kimberlitos aflorantes nos municípios de Juína, Paranatinga e na Região de Jauru, quartzo - sienito em Aripuanã e Colíder que correspondem ao corpo Alcalinas Canamã, e em Alta Floresta ao Sienito Cristalino, muscovita - biotita xistos do Complexo Rio Galera na Região de Pontes e Lacerda, Nova Lacerda e Comodoro, Peridotito, carbonatitos do Complexo Carbonatítico de Planalto da Serra, charnockitos e granitos da Suíte Intrusiva Serra da Providência aflorantes em Juína, Castanheira, Brasnorte e Juara. Dada a importância do assunto no cenário atual do estado de Mato Grosso, o desenvolvimento de pesquisas área dos agrominerais e remineralizadores de solo carecem de melhor detalhamento e análises de liberação de macronutrientes como K,

Mg, Ca, micronutrientes como Cl, B, Se, Mn, dentre outros, visando auxiliar no esclarecimento da eficácia dessas rochas como remineralizadores.

ALTERAÇÕES NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DE DOIS LATOSSOLOS APÓS APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO FILLER

Antônio Carlos Saraiva da Costa¹, Ivan Granemann de Souza Junior², Bruno Ribeiro Ferreira³, Zander Henrique de Lima Klein⁴

¹Professor Associado, Universidade Estadual de Maringá, acscosta@uem.br.

²Doutor, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. ivangsjunior@gmail.com.

³Engenheiro Agrônomo, Pedreira Ingá, Estrada São José, 725 - Jardim São Clemente, Maringá-PR, 87062-000, bruno@pedreirainga.com.br.

⁴Mestre em Agroecologia. PPG Profissional em Agroecologia. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. agrozander11@gmail.com.

Solos tropicais da região úmida apresentam atributos químicos e mineralógicos associados à intensa perda de sílica (H_4SiO_4), bases (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) e acúmulo dos componentes da acidez (H^+ , Al^{3+}). Como resultado destas perdas os solos apresentam elevada acidez ($pH < 7,0$), dessaturação por bases ($V\% < 50$) e elevada saturação por alumínio trocável ($m\% > 50$). Além disso, sua mineralogia é composta predominantemente por minerais de argila 1:1 (caulinita) e óxidos de ferro (hematita, goethita e maghemita) e alumínio (gibbsita). Estes minerais possuem, como característica principal, baixa capacidade de troca catiônica (CTC) associada aos grupos funcionais superficiais-GFS silanol ($[SiOH]$), aluminol ($-AlOH$) e ferrol ($FeOH$) cujo pK_a varia de 5,2 a mais de 7,0. Estes GFSs também possuem elevada capacidade de sorção de ânions como fosfato e sulfato, valores de ΔpH próximos a zero e valores de pH_{PCZ} acima de 5. A aplicação de remineralizadores, como o pó de basalto *filler*, é uma das alternativas para o rejuvenescimento dos solos, pois na forma de pó, com partículas menores do que 0,3 mm, libera bases e sílica em solução, favorecendo a melhoria dos atributos químicos e mineralógicos do solo. A liberação das bases e da sílica ocorre devido à intensa hidrólise dos grupos funcionais constituintes dos minerais primários, como as olivinas, piroxênios, anfibólios e os plagioclásios identificados por difratometria de raios-X em amostras do pó de basalto. Em um experimento em casa de vegetação foram aplicadas, em vasos de 12 L, doses crescentes (0,10, 20, 30, 40 e 50 t ha⁻¹) de pó de basalto *filler* ($\varphi < 0,3$ mm) no horizonte A de dois Latossolos Vermelhos, um de textura média derivado do Arenito Caiuá (LVd) e outro de textura argilosa derivado de basalto (LVdf). Após a aplicação dos tratamentos ao solo, estes foram permitidos reagir por ~30 dias e em seguida semeados com *Brachiaria ruziziensis*. Foram cultivados 2 ciclos da cultura por períodos de até 120 dias, cada. Em seguida, foram coletadas amostras dos solos, secas ao ar e analisados

seus atributos químicos pH_{H_2O} , pH_{KCl} , ΔpH , pH_{PCZ} , CTC, V% e m%. A aplicação do pó de rocha de basalto *filler* resultou em maiores alterações nos atributos químicos no LVd quando comparado com o LVdf. No Latossolo Vermelho de textura média-LVd ocorreu aumentos significativos nos valores de pH, aumento da CTC, da saturação por bases (V%) e a completa eliminação da acidez trocável (Al^{3+}) dos solos. Além disso, no LVd a incorporação das doses crescentes do pó de basalto favoreceu maiores decréscimos nos valores de pH_{PCZ} e tornou mais negativo os valores de ΔpH , promovendo o rejuvenescimento dos atributos químicos do LVd. O valor do pH de abrasão do pó de basalto ($> 9,0$) favoreceu a elevação do pH, aumentando a quantidades de cargas negativas (CTC) dos coloides do solo devido a formação de complexos de esfera interna entre a sílica liberada em solução pela hidrólise dos minerais primários em solução com os GFSs silanol, ferrol e aluminol.

INFLUÊNCIA DE DOSES DE REMINERALIZADOR SILTITO NA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO

Beatriz Motta Rodrigues⁽¹⁾⁽²⁾, Roseclênia Alves Santos⁽³⁾, Bruna Oliveira Ferreira⁽⁴⁾⁽²⁾, Antônio Carlos de Azevedo⁽⁵⁾⁽²⁾

(1)Doutoranda em Solos e nutrição de plantas Universidade de São Paulo (ESALQ - USP)., beatriz_mr@usp.br

(3)Doutoranda em Ciência do Solo, UFRPE roseclenia.alves@usp.br;

(4)(2)Engenheira agrônoma, bruna.oliveira.ferreira@usp.br;

(5)(2)Professor Associado em Departamento de Ciência do Solo, aazevedo@usp.br

A busca por fontes de baixo impacto ambiental que melhorem o desempenho dos cultivos consideram os pós de rocha como opção pertinente. A pequena concentração de nutrientes nos solos tropicais torna vantajosa a aplicação de remineralizadores devido a frequência reduzida de aplicação, liberação gradual de nutrientes, além de menores perdas por lixiviação. No entanto, a dissolução de cada remineralizador é particular e deve ser avaliado através de seu efeito no sistema solo-planta em condições experimentais. Este trabalho avalia a disponibilidade de fósforo nas plantas em relação às doses, bem como compara a liberação de P com uma fonte tradicional de P. Com base no teor de P solúvel em ácido cítrico (P205-ca) foram selecionados para o experimento um siltito com 4,2% de P205 (S5%) e um outro com 8,8% de P205- ca (S30%). O solo utilizado foi coletado na camada 0 a 0,20 m, e classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com textura franco arenosa. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, de acordo com o protocolo agrônômico proposto pela Embrapa. Vasos plásticos, sem drenagem livre, foram preenchidos com 5 kg de solo, e os 16 tratamentos com doses, fontes e nutrientes em delineamento inteiramente casualizado, montando assim 4 cópias do experimento. A cada evento de monitoramento, uma cópia foi desmontada para análises enquanto as demais permaneceram para o próximo cultivo, totalizando, portanto, 4 eventos de

monitoramento (C1 a C4). O primeiro monitoramento, C1, ocorreu após 21 dias de incubação sem plantas, C2 e C3 (durante o inverno) ocorreram após o cultivo e colheita de aveia, e o C4 (primavera) após a colheita de milho. A menor disponibilidade de P foi medida no S5%, enquanto o S30% e SFT foram maiores, sem diferença entre suas médias. Estes resultados sugerem que esses siltitos, particularmente o S30%, são fontes potenciais de P para as culturas. No tecido vegetal, a concentração de P da planta em C4 mostrou efeito significativo apenas para doses de 80 e 160 kg de P₂O₅ ha⁻¹ para a fonte de SFT. A disponibilidade de P aumentou em todos os monitoramentos (C1 a C4) e em função das doses de P₂O₅.

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E GRÃOS DE MILHO (ZEA MAYS L.) EM LATOSSOLO VERMELHO DE TEXTURA MÉDIA APÓS APLICAÇÃO DE PÓ DE BASALTO FILLER

Bruno Ribeiro Ferreira¹, Antônio Carlos Saraiva da Costa², Ivan Granemann de Souza Junior³

¹Engenheiro. Agrônomo, Pedreira Ingá. bruno@pedreirainga.com.br.

²Professor Associado III, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. acscosta@uem.br.

³Doutor, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. ivangsjunior@gmail.com.

Latossolos são a ordem de solos mais comuns em regiões tropicais úmidas. Solos desta ordem são geralmente profundos, homogêneos e de baixa fertilidade química. A baixa fertilidade química está associada a valores baixos de pH (<6,5), elevada saturação por alumínio (m% >50) e baixa capacidade de retenção de cátions (CTC) devido a predominância de minerais de baixa atividade na fração argila como a caulinita e os óxidos de ferro (hematita e goethita) e alumínio (gibbsita). Os Latossolos de textura média derivados do Arenito Caiuá cobrem uma extensa área nas regiões Sul Sudeste e Centro Oeste do Brasil e são cultivados com café, citrus, pastagens e em menor proporção por culturas anuais como soja e milho. Estes solos precisam de calagem e da adição de fertilizantes para produzir. Uma das técnicas para melhoria da ação de corretivos e fertilizantes é a aplicação de remineralizadores como pó de rocha de basalto na forma de *filler*. Sua aplicação ao solo resulta na liberação de sílica e bases na correção do solo devido à hidrólise dos minerais primários (olivinas, piroxênios, anfibólios e plagioclásios) da rocha. Este trabalho teve por objetivo avaliar o aumento da produção de matéria seca e grãos da cultivar de milho 22S18 SEMPRE sementes, além das modificações dos atributos químicos do solo após a aplicação de pó de basalto oriundo da empresa Pedreira Ingá Indústria e Comércio Ltda. O experimento foi realizado em duas áreas homogêneas de mesma textura, adubação e tratamentos culturais. As aplicações de pó de basalto foram realizadas na proporção de 5 toneladas por alqueire na operação a lança superficial no solo e a testemunha. A adubação realizada nas áreas corresponde a 650 quilos por alqueire com o formulado Yara 10-15-15 no sulco de semeadura e 200 kg de sulfato de amônia em cobertura no estágio V2. Os tratamentos foram submetidos a determinação

dos pesos dos grãos e matéria seca, conduzidos em esquema fatorial 5×10 (linhas de plantio x número de plantas por linha). As amostragens de solo nas áreas foram realizadas em 3 pontos distintos e perfis de 0-5, 5-10, 10-20 e 20- 40 cm de profundidade, e em apenas um dos pontos de cada área realizou-se as amostragem nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-60 e 60-100 cm. As variáveis avaliadas foram: peso de grãos, peso de biomassa seca das plantas, pH do solo, Al, H+Al, Ca, Mg, P, K, Na, soma de bases, CTC e V%. Os resultados das análises mostraram que a aplicação pó de basalto aliado a periodicidade de adubação e correção do solo na área de tratamento proporcionaram a máxima redução da acidez ativa, elevando o pH do solo, aumento significativo nos teores de P, Ca, Mg e K; nos valores de SB e V%. A produção de grãos de milho apresentou aumento significativo ($p < 0,05$) de rendimento de grãos na área de tratamento em relação à testemunha devido o histórico periódico de adubação e correção da área do tratamento aliado a aplicação do pó de basalto.

COMPORTAMENTO DO PÓ DE DOIS CARBONATITOS EM EXPERIMENTO AGRONÔMICO COM *TITHONIA DIVERSIFOLIA*

Cassiana Roberta Lizzoni Michelin¹, Ligia de Oliveira²; Andrea Sander^{2,3}, Maria Tarciana Pereira da Cruz², Michele Goulart da Silva Carames²; Carlos Augusto Posser Silveira⁴; Marlone Heliara Hünig Bom²

(1) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de Mineralogia e Petrologia. Av. Bento Gonçalves, 9.500, CEP 91.540-000, Porto Alegre, RS. E-mail: cassiana.michelin@ufrgs.br.

(2) Instituto Tecnológico em Micropaleontologia, itt FOSSIL, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. tarcianapacruz@gmail.com marlonebom@gmail.com migoulart@unisinos.br . (3) Serviço Geológico do Brasil - CPRM - andrea.sander@cprm.gov.br. (4) Embrapa Clima Temperado. augusto.posser@embrapa.br

Os carbonatitos, rochas ígneas compostas essencialmente por carbonatos primários, têm rara ocorrência na crosta terrestre e possuem grande valor econômico agregado, em particular pelo elevado teor de fósforo (P). No Rio Grande do Sul estão descritos seis corpos carbonatíticos: Joca Tavares (JT), Três Estradas (TE), Picada dos Tocos, Passo Feio, Porteira e Santa Inez, sendo que os dois primeiros são foco deste trabalho. O pó destas duas rochas foi testado agronomicamente com *Tithonia diversifolia*, planta cicladora de P e de K; em casa de vegetação, na Embrapa Clima Temperado, durante 207 dias. Foram preparados baldes com volume de 4.423 cm^3 , com substrato comercial à base de turfa, casca de arroz carbonizada e calcário calcítico. Aos carbonatitos moídos em granulometria inferior a 0,3 mm foram adicionados nutrientes para fornecer o equivalente a 90 kg ha^{-1} de N, 80 kg ha^{-1} de P_2O_5 e 90 kg ha^{-1} de K_2O . Os corpos JT e TE foram caracterizados petrograficamente, apontando que o primeiro tem duas fácies: uma vulcanoclástica e outra vulcânica. Destas, foi utilizada a fácies vulcânica, mais homogênea e rica em fosfatos primários, apresentando textura inequigranular porfirítica com fenocristais de carbonato de grão fino ($<0,5\text{mm}$), imersos em uma matriz microcristalina de mesma composição (55%), com finos

cristais aciculares de apatita e fluorapatita (10%), ilmenita (25%) e traços de monazita e melilita. Já o corpo TE apresenta estrutura gnáissica, com níveis rosados, constituídos predominantemente de carbonato; e níveis esverdeados, máficos. A rocha é granoblástica fina a média (<2,0mm), composta de carbonato (61%), apatita (25%), flogopita (10%), opacos (3%) e raro anfibólio (1%). A DRX não detectou a presença de argilominerais nos carbonatitos, no substrato, nem na mistura destes após o experimento agrônômico e portanto estes não estão envolvidos na liberação de nutrientes à planta. Entretanto a microscopia eletrônica de varredura, em imagens de WDS, revelou a presença de fungos micorrízicos e de fitólitos, além de feições de dissolução de minerais, sendo estes dois mecanismos os responsáveis pela liberação dos nutrientes que via de regra ocorreu, proporcionando aumento nos teores de nutrientes na parte aérea e nas hastes analisadas. Se ressalta que há consonância entre a composição litoquímica das rochas e a análise química dos nutrientes da parte aérea da planta, que refletiu com muita fidelidade e proporção quando comparadas entre si. Adicionalmente se destaca que o carbonatito JT apresentou teores de P e K na parte aérea da planta significativamente superiores, o que pode estar relacionado a presença de matriz microcristalina, onde foram observadas finas agulhas de apatita ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$) e fluorapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$), possibilitando uma dissolução mais efetiva dos minerais e uma interação com a planta. Se destaca que a fluorapatita é descrita como o principal fosfato dos carbonatitos ígneos, entretanto está sujeita a substituições que podem alterar significativamente sua estrutura, já que é um sólido lacunar atravessado por canais cujo diâmetro varia com as substituições nos seus sítios iônicos; estes canais auxiliam na difusão iônica, podendo mesmo ser observada difusão no estado sólido, possivelmente favorecendo a dissolução do mineral.

EFEITO DA GRANULOMETRIA DE MICAXISTO NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES À CULTURA DA SOJA

Castro, J. P. V de ⁽¹⁾; Ferreira, K. R. S. ⁽²⁾; Almeida, D. R. ⁽³⁾; Medeiros, L. S. ⁽⁴⁾; Brasil, E. P. F. ⁽⁵⁾; Leandro, W. M. ⁽⁶⁾

¹Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. vilelajp21@gmail.com ;

²Mestranda em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. karlaferreira.agro@gmail.com

³Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Goiás. danielle-resende@hotmail.com;

⁴Engenheiro Agrônomo, consultor em rochagem. luizmedeiros@yahoo.com.br ;

⁵Professora titular da Universidade Federal de Goiás. elianafernandes.ufg@gmail.com

⁶Professor titular da Universidade Federal de Goiás. wilsonufg@gmail.com

O Brasil é um grande importador de insumos agrícolas fornecem nutrientes essenciais ao desenvolvimento das culturas. Visando diminuir as importações e viabilizar o uso de fontes alternativas (remineralizadores) que possam oferecer nutrientes ao solo e às plantas. Os

remineralizadores Finos de Micaxisto (FMX) da Pedreira Araguaia, tem sido utilizado por produtores da região de Goiânia. O objetivo desse trabalho foi observar os efeitos da redução da granulometria na disponibilidade de nutrientes para a cultura de soja. O experimento foi conduzido em casa de vegetação da Escola de Agronomia na Universidade Federal de Goiás, Goiânia-Goiás. Os solos utilizados foram Latossolo Vermelho ácrico (LVw), e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo). O delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2, no qual o primeiro fator constou das cinco doses de adubações de Finos de Micaxistos (FMX) como fonte de potássio (K^+), sendo o Fosfato Monoamônico (MAP) a fonte de fósforo: 1) T1: Testemunha; 2) T2: MAP+Cloreto de Potássio (KCl); 3) T3: MAP+FMX granulometria comercial; 4) T4: MAP+FMX de granulometria menor que 0,25 mm; 5) T5: MAP+FMX de granulometria menor que 0,106 mm. A dosagem de 60 kg de K_2O .ha⁻¹ foi mantida nos dois solos. A soja foi semeada no início no mês de dezembro de 2019. A mensuração da altura e diâmetro foi realizada a partir de 15 dias após a semeadura (DAS), repedida semanalmente até 62 DAS. Os dados foram analisados por ANOVA e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($P < 0,05$). Para a variável altura, o tratamento T2 no LVw apresentou diferença significativa aos demais. No RQo, o tratamento T5 mostrou-se superior à testemunha e equivalente ao tratamento T2. Em relação ao diâmetro, os tratamentos T5 e T4 apresentaram mesmo efeito significativo superior ao T3. Os remineralizadores com granulometria reduzida podem disponibilizar melhor os nutrientes equiparando-se a fertilizantes químicos.

FONTES ALTERNATIVAS DE CORRETIVOS DE SOLO NA CULTURA DA SOJA

Castro, J. P. V de ⁽¹⁾; **Ferreira, K. R. S.** ⁽²⁾; **Almeida, D. R.** ⁽³⁾; **Medeiros, L. S.** ⁽⁴⁾; **Brasil, E. P. F.** ⁽⁵⁾; **Leandro, W. M.** ⁽⁶⁾

¹Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. vilelajp21@gmail.com ;

²Mestranda em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. karlaferreira.agro@gmail.com

³Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Goiás. danielle-resende@hotmail.com;

⁴Engenheiro Agrônomo, consultor em rochagem. luizmedeiros@yahoo.com.br ;

⁵Professora titular da Universidade Federal de Goiás. elianafernandes.ufg@gmail.com

⁶Professor titular da Universidade Federal de Goiás. wilsonufg@gmail.com

Para a obtenção de rendimentos satisfatórios em determinadas culturas, preconiza-se o manejo adequado do solo. A correção da acidez do solo pela calagem é um dos melhores investimentos a ser feito para a obtenção de melhor rendimento. Neste contexto, o objetivo foi avaliar a eficiência de novas fontes de corretivos de solo proveniente do município de Baraúna, Rio Grande do Norte. O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente à Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado,

em esquema fatorial 9x2, com três repetições, sendo: 1) Controle (T1); 2) CNN CSP (T2); 3) CNN pilha pulmão (T3); 4) Escória de forno (T4); 5) JCE (T5); 6) Cal nível 1 (T6); 7) Cal nível 2 (T7); 8) Cal nível 3 (T8) e; 9) Calcário calcítico (T9). Esses tratamentos, por sua vez, foram aplicados à dois tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA, textura média) e Latossolo Vermelho distrófico (LV, textura argilosa). Foram utilizados vasos de 4 litros com solos foram secos ao ar. A calagem foi realizada para Saturação de Bases do Solo para 60% (Sousa & Lobato, 2004). Em seguida, os corretivos foram aplicados e misturados ao solo. Foram semeadas cinco sementes de soja (*Glycine max*) com desbaste realizado 10 dias após a semeadura. Realizou-se mensurações de altura e diâmetro, com régua graduada em milímetros e paquímetro. Os dados foram analisados por ANOVA e, quando o teste F foi significativo, realizou-se o teste de Tukey ($P < 0,05$). A escória de forno (T4) apresentou efeito significativo na altura das plantas de soja e no número de trifólios em relação ao tratamento controle e em relação ao tratamento com calcário calcítico (T9). Não houve diferença entre os tratamentos com teores de CaO variando de 40 a 50% (T7, T8 e T9) em relação ao tratamento controle (T1). Materiais alternativos ao calcário podem ser utilizados como corretivos de solo, gerando resultados superiores nas plantas que, possivelmente, ocasionarão maior produtividade.

O USO EFICIENTE DE MICAXISTO COMO FONTE DE NUTRIENTES À CULTURA DA SOJA

Castro, J. P. V de ⁽¹⁾; Ferreira, K. R. S. ⁽²⁾; Almeida, D. R. ⁽³⁾; Medeiros, L. S. ⁽⁴⁾; Brasil, E. P. F. ⁽⁵⁾; Leandro, W. M. ⁽⁶⁾

¹Mestrando em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. vilelajp21@gmail.com ;

²Mestranda em Agronomia, Universidade Federal de Goiás. karlaferreira.agro@gmail.com

³Graduanda em Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de Goiás. danielle-resende@hotmail.com;

⁴Engenheiro Agrônomo, consultor em rochagem. luizmedeiros@yahoo.com.br ;

⁵Professora titular da Universidade Federal de Goiás. elianafernandes.ufg@gmail.com

⁶Professor titular da Universidade Federal de Goiás. wilsonufg@gmail.com

Para a obtenção de rendimentos satisfatórios em determinada cultura, preconiza-se o manejo adequado da fertilidade. Visando à redução dos custos produção, o uso de fontes alternativas de insumos tem aumentado, dentre as alternativas está a remineralização do solo.

Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência da remineralização do solo com a rochagem de micaxisto proveniente da empresa Britec, instalada no município de Bela Vista de Goiás, Goiás. O experimento foi instalado em casa de vegetação pertencente à Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia-GO Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 7x2, com quatro repetições, sendo: 1) T1: controle; 2) T2: 35 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte: micaxisto); 3) T3: 70 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte: micaxisto);

4) T4: 140 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte: micaxisto); 5) T5: 280 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte: micaxisto); 6) T6: 70 kg ha⁻¹ de K₂O (micaxisto proveniente de outra localidade) e; 7) T7: 70 kg ha⁻¹ de K₂O (fonte: KCl). Esses tratamentos, foram aplicados à dois tipos de solos: Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA, textura média) e Latossolo Vermelho distrófico (LV, textura argilosa). Foram utilizados vasos de 9 litros. Os solos foram secos ao ar. A calagem foi realizada da saturação de bases chegar a 60% . Em seguida, o pó de rocha foi misturado ao solo de forma que se obtivesse distribuição homogênea. Foram semeadas cinco sementes de soja (*Glycine max*) com desbaste após 10 dias de semeadura. Realizou-se mensurações de altura e diâmetro, com régua graduada em milímetros e paquímetro, respectivamente. Os dados foram analisados por ANOVA e, quando o teste F foi significativo, realizou-se o teste de Tukey (P < 0,05). As doses mais elevadas de potássio (140 kg ha⁻¹ e 280 kg ha⁻¹), proveniente de rochagem, promoveram aumento da altura e do diâmetro das plantas de soja. Não houve diferença na aplicação de potássio proveniente de KCl para o tratamento controle. Apenas doses elevadas de K₂O provenientes de micaxisto resultam em maior altura e diâmetro de plantas de soja.

DESENVOLVIMENTO INICIAL DA SOQUEIRA DE CANA-DE-AÇÚCAR SOB DIFERENTES DOSES DE PÓ DE ROCHA

César Martoreli da Silveira¹, Gabriel Vinicius Lima de Souza², Pedro Henrique Batista dos Santos³, Rian Nogueira³, Antonio Alexandre Bizão⁴;

Colégio Técnico Agrícola – CTA, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, UNESP, Campus de Jaboticabal, Estado de São Paulo; ¹Prof. Dr. CTA-UNESP; cesar.m.silveira@unesp.br; ²Graduação em Engenharia Agrônômica (FCAV); ³Curso Técnico em Agropecuária (CTA); ⁴Pesquisador em Agrogeologia.

A busca pela sustentabilidade nos sistemas agrícolas tem feito com que o desenvolvimento de pesquisas e soluções para a agricultura do novo milênio sejam destaque para processos e produtos que garantam a manutenção dos mesmos. O processo de rochagem é conhecido pela obtenção de um subproduto, o pó de rocha, que em condições adequadas de granulometria e composição mineralógica, forma um produto de fonte natural, por meio da exploração de rochas, possibilitando um custo mais acessível e diminuindo os impactos ambientais, tanto nos sistemas agrícolas quanto na área da mineração. Assim, o uso dessa tecnologia na agricultura como fonte de minerais e remineralizadores dos solos tem despertado interesses sustentáveis, econômicos e científicos. Deste modo, esta pesquisa avaliou o efeito do uso de pó de rocha de basalto (PR) na soqueira de cana-de-açúcar tardia de terceiro corte, após brotação no mês de novembro de 2019, avaliando o seu desenvolvimento e crescimento inicial. O experimento foi realizado em área agrícola de um grupo de usinas parceiro, no município de Tabapuã - SP. Foram realizadas medições não destrutivas das características agrônômicas da cultura dadas pelo número de perfilhos por planta (NP), altura de plantas (ALT PLANT), diâmetro de colmo (DC)

e índice de área foliar estimado (IAF), aos 60 dias após aplicação a lanço em área total do PR, com seguintes tratamentos: T1- padrão da usina (PU) e sem PR; T2- PU + 2,5 t ha⁻¹ de PR; T3- PU + 5,0 t ha⁻¹ de PR; T4- PU + 7,5 t ha⁻¹ de PR e; T5- PU + 10,0 t ha⁻¹ de PR, com quatro repetições e delineamento em blocos casualizados. O solo local foi caracterizado como Argissolo - PVA, com cultivo e condução da cultura realizados pelo referido grupo (PU). Os valores e padrões estatísticos das variáveis agrônômicas analisadas foram dados pelo software AgroEstat, por meio da análise de variância pelo teste F, com comparação de médias feitas pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade e, realizada a análise de regressão polinomial das doses. Como resultados, para o NP e IAF, o T5 apresentou os maiores valores médios, diferindo-se significativamente apenas do T1. Em relação à ALT PLANT, os T4 e T5 foram destaques e, junto com o T3, também obtiveram os maiores valores médios quanto ao DC, diferindo-os significativamente do T1. Já o T2 mostrou-se similar ao T1, apesar de apresentar valores médios superiores ao mesmo. Conclui-se, nas condições da referida pesquisa, que os tratamentos (doses) com PR, em valores médios, na soqueira de cana-de-açúcar contribuíram para o seu desenvolvimento e crescimento inicial, assumindo um parâmetro linear de desempenho em função das doses aplicadas.

EFEITO DE REMINERALIZADOR SILICÁTICO EM ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Daniele Oliveira Cunha¹, Hélen Alves Lima², João Victor Santos Vieira², Joeldson da Silva Carvalho², Yuri Caires Ramos³, Nielson Santos Machado³

¹Graduanda em Agronomia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. danieleocunha@outlook.com ; ²Graduando em Agronomia da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. helenalvesl@outlook.com; vieirajoavictor@hotmail.com joeldson.tecnicoagro@gmail.com

³Docente Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, cairesramos@ufrb.edu.br nielsonmachado@ufrb.edu.br

O território brasileiro é constituído, na sua maior parte, por solos bastantes intemperizados e conseqüentemente ácidos e pobres em nutrientes, como o potássio. Para torná-los produtivos, são utilizadas quantidades elevadas de fertilizantes. Há, contudo, a necessidade de se buscar alternativas econômicas aos fertilizantes tradicionais. Desta forma, faz-se necessário a busca por uma fonte alternativa de fertilizantes potássicos. O uso de pó de rocha silicática como fertilizante desponta como uma alternativa promissora que permitiria ao Brasil diminuir a sua dependência externa de fertilizantes, trazendo benefícios produtivos, econômicos, favorecendo um melhor desempenho da balança comercial. Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar as alterações nos atributos químicos de solos que receberam aplicação de doses de remineralizador silicatado. O experimento foi desenvolvido em ambiente controlado, utilizando-se dois solos (Neossolo quartzarênio – RQ e Latossolo Amarelo distrocoeso típico - LAd). Adotou-se o delineamento inteiramente casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Cada unidade experimental foi constituída por um saco plástico de polietileno de 2 kg de capacidade, preenchido com 1

kg do RQ e do LAd. Os tratamentos foram constituídos de doses de remineralizador aplicadas de igualmente para ambos os solos, sendo: 0,0; 10; 20; 40; 80 e 160,0 t ha⁻¹. Após o período de incubação do produto (40 dias), foram quantificados os atributos químicos (M.O., pH, CTC, H+Al, Al, SB, V, P, K, Ca, Mg, Na, B, Cu, Fe, Mn e Zn). Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) seguido de análise de regressão. A aplicação de doses do remineralizador silicático incrementou de forma linear os atributos pH, SB, CTC, V, P, Ca, Mg, K e Fe nos dois solos. Entretanto, não alterou os teores de matéria orgânica, a acidez potencial e os teores de Na, Mn, B, Cu e Zn. A variação do pH para o RQ foi de 42% (4,87 – 6,9) e apenas 9% (5,52 – 6,02) no LAd entre o tratamento controle e a maior dose, respectivamente. Em decorrência do aumento do pH os teores de fosforo aumentaram 2915% (1,5 – 45,23 mg dm⁻³) no RQ e 1870% (1,48 – 29,16 mg dm⁻³) no LAd, entre as doses 0,0 e 160,0 t ha⁻¹, respectivamente. Com a aplicação de 160 t ha⁻¹ do remineralizador no RQ houve um incremento, em relação a testemunha, de 76,6; 621,24 e 41,33 kg ha⁻¹ de K, Ca e Mg, respectivamente. Para o LAd esses incrementos foram de 101,66; 825,64 e 97,21 kg ha⁻¹ de K, Ca e Mg, respectivamente. O pó de rocha silicática testado apresenta grande potencial de uso em solos agrícolas como remineralizador de solo.

BIODISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE REMINERALIZADORES POR ESPÉCIES FORRAGEIRAS

Danilo Silva Amaral; Cíntia Cármen de Faria Melo; Tadeu Bernardes Marques; Davi Leite de Souza; Luís César Dias Drumond; André Mundstock Xavier de Carvalho.

Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba. tbernardesm@gmail.com

O processo de intensificação da produção animal em pastagens demanda a utilização de fertilizantes, que constitui parcela significativa do custo de produção, sendo que o emprego de fontes alternativas de nutrientes como os pós de rocha, pode ser viável econômico e ambientalmente, além de solucionar o problema das mineradoras que acumulam estes pós, evitando assim um descarte inadequado deste resíduo. Este contexto evidencia a necessidade de investigar o potencial desses subprodutos de mineração como fontes de nutrientes em pastagens. Assim, este estudo objetivou avaliar a biodisponibilização total de K, P, Na, Ca, Mg e Si a partir de subprodutos de mineração e seu potencial em promover melhorias em atributos químicos do solo. Foi conduzido um experimento em casa de vegetação, no delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5x2, sendo cinco subprodutos de mineração (gnaisse melanocrático, microgabro, fonolito, glauconito e controle) e duas espécies forrageiras (braquiária e estilosantes), com quatro repetições. As unidades experimentais foram vasos de 10 dm³ preenchidos com Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, nos quais foram aplicados os pós de rocha, calcário e esterco bovino nas doses de 12; 0,75 e 40 t ha⁻¹, respectivamente. Foram analisadas a parte aérea da forrageira quanto a produção de forragem e os teores de Si, P, Ca,

Mg, K e Na, e o conteúdo destes nutrientes no solo. A biodisponibilização total foi determinada através da soma dos conteúdos dos nutrientes presentes na matéria seca total e o que restou no solo ao final do experimento. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade. O fonolito forneceu K e Si em curto prazo, e o gnaïsse apresentou-se como fonte de P e Mg. O estíloso foi mais eficiente em biodisponibilizar K e Mg, e a braquiária Si.

USO DE ROCHA BASÁLTICA COMO REMINERALIZADOR DE SOLOS EM UM SISTEMA DE ROTAÇÃO DE CULTIVOS COM QUINOA COMO CULTURA PRINCIPAL

Diego Felipe Mosquera Burbano¹ e Suzi Huff Theodoro²

¹Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural/Universidade de Brasília diegopipe84@hotmail.com¹; ²suzitheodoro@unb.br²

O uso de fertilizantes à base de pó de rocha e práticas agrícolas ambientalmente sustentáveis, entre as quais pode-se citar a tecnologia da Rochagem, atendem os princípios da agroecologia e configuram-se como rotas tecnológicas importantes para assegurar a qualidade nutricional dos alimentos produzidos, bem como a preservação dos recursos ambientais, em especial, do solo. Seguindo essa nova rota de sustentabilidade para a agricultura brasileira, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficácia do uso de pó de basalto, como remineralizador de solo com vistas a assegurar e favorecer a cultura da quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). A quinoa, tem sido adaptada ao cultivo no Brasil, via seleção de progênies. Devido ao fato dessa cultivar apresentar proteína com elevado equilíbrio de aminoácidos essenciais e ausência de glúten, ela tem sido qualificada como o melhor alimento de origem vegetal para o consumo humano. Este trabalho representa uma parte dos resultados obtidos na dissertação de mestrado do primeiro autor, que implementou um experimento a campo em condições semicontroladas que considerou além da quinoa, um sistema de rotação com culturas como o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) e rúcula (*Eruca Sativa*). Para o experimento utilizou-se um desenho de blocos ao acaso com vasos (unidades experimentais) as quais foram distribuídas de forma aleatória, em um espaço denominado Vitrine de Iniciativas Agroecológicas (VIA), no campus da Universidade de Brasília. O experimento foi composto por 20 unidades experimentais, onde foram avaliados cinco tratamentos (remineralizador, composto orgânico, NPK, remineralizador + composto orgânico e controle) com quatro repetições. Para análises dos dados utilizou-se do programa estatístico SPSS e o programa *SPEED stat*. Analisou-se tanto aspectos relacionados as alterações na fertilidade dos solos quanto os resultados do desenvolvimento fenológico da quinoa. Considerou-se o estágio vegetativo e reprodutivo, onde foram comparados o desenvolvimento e o rendimento das plantas nos cinco diferentes tratamentos. Para análise dos dados relativos à

fertilidade, considerou-se as alterações entre o solo inicial e após 11 meses. Os resultados obtidos no experimento evidenciaram o desenvolvimento das duas culturas iniciais (feijão e rúcula) obtiveram melhores rendimentos nas parcelas onde se adicionou NPK. Porém, os dados obtidos para a cultura principal mostram que houve uma inversão, onde a quinoa obteve resultados mais expressivos nas parcelas onde havia sido adicionado os remineralizadores ou a sua mistura com composto orgânico.

A TEORIA DA TROFOBIOSE E A ROCHAGEM: ESTUDOS DA PALMA FORRAGEIRA NO SERTÃO BAIANO

Fernanda de Paula Medeiros¹, Suzi Huff Theodoro²

¹ Universidade Federal de Viçosa, fefah2801@gmail.com;

² Universidade de Brasília, suzitheodoro@unb.br

Este trabalho apresenta parte dos resultados de uma pesquisa que investigou os efeitos da utilização da técnica de rochagem na nutrição e sanidade de plantas em uma área de policultivo implantadas na comunidade quilombola Lajedão dos Mateus, localizada no município de América Dourada/BA. Foram avaliadas duas espécies de palma forrageira - a "Gigante" (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) e a "Doce" (*Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dick.) como plantas indicadoras. A pesquisa usou como premissas os princípios relativos à agroecologia, utilizando a tecnologia da rochagem em sistemas de plantios consorciados (policultivos) com outras espécies agrícolas e frutíferas como forma de potencializar os efeitos produtivos e ampliar a oferta de alimentos da comunidade como ferramenta de consolidação da segurança alimentar dos agricultores. Foi utilizado o pó de rocha *Naturalplus* como remineralizador, material composto por minerais formados por silicatos de cálcio, magnésio, fósforo, além de outros micronutrientes. O delineamento experimental da área contemplou a divisão em parcelas ao acaso, expostas a quatro tipos de tratamentos: T0 - controle, T1 - Remineralizador, T2 - Composto Orgânico e T3 - Remineralizador + Composto Orgânico, com quatro repetições de forma casualizada. Os cladódios foram submetidos a determinação de nutrientes (Na, NH₃, Mg, Ca, K⁺, Cl⁻, NO₃⁻ e SO₄⁻) pela análise de detritos, além da obtenção das concentrações de lignina, celulose e fenóis totais. Após 12 meses de pesquisa, foi possível averiguar que o remineralizador potencializa a nutrição da palma forrageira. Os dados obtidos foram processados utilizando-se do software estatístico R, e enquadrados no modelo de dados não paramétricos em delineamento experimental inteiramente ao acaso, com grau de significância $p \geq 0,05$, em análise univariada. Para análise multivariada adotou-se a PCA, que comparou diferentes variáveis numa mesma imagem gráfica, como os resultados de quantidades de detritos (nutrientes), lignina e celulose e fenóis totais nos diferentes tratamentos. Observou-se que as plantas adubadas com a presença do remineralizador enriquecido com o composto orgânico apresentaram maior sanidade e menor ataque de pragas,

quando comparadas aos demais tratamentos. A análise do tecido vegetal revelou resultados significativos para nutrientes, lignina e celulose apenas para a palma Doce, e fenóis totais apenas para a palma Gigante. As análises relativas ao teor de nutrientes dos cladódios apresentaram diferenças na forma de absorção de nutrientes para cada espécie, destacando-se o Ca, NH₃, e o K para a Palma Doce. Já para a Palma Gigante essa diferença não foi confirmada pelo método estatístico utilizado, o que revela a baixa exigência nutricional dessa espécie e sua adaptação aos solos do semiárido. Esses resultados vão de acordo com a teoria da Trofobiose, onde as plantas que conseguem obter a quantidade de nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, tendem a sofrer menor ataque de pragas e patógenos, quando comparadas às plantas adubadas em concentrações inadequadas.

VIABILIDADE DE USO AGRÍCOLA DO MATERIAL SECUNDÁRIO (REMINERALIZADOR DE SOLOS) OBTIDO NO PROCESSO DE BRITAMENTO DA CBM MINERAÇÃO

Fred Newton da Silva Souza¹, Juliana Mariano Alves²

¹Universidade Estadual do Tocantins (UNITINS/MUDAM), fred.ns@unitins.br;

² Universidade Estadualdo Tocantins (UNITINS/NUDAM), juliana.ma@unitins.br.

O material secundário da CBM Mineração é obtido do beneficiamento (britagem e separação) da rocha “gnaisse” para produção de brita. O material contém elementos de nutrição de plantas, notadamente devido sua composição mineralógica rica em minerais silicáticos (feldspato, biotita, calcita e clorita) portadores de Si, K, Ca, Mg e Fe. Do ponto de vista da nutrição de plantas, dentre os elementos menores, o material possui em sua composição Zn, Mo e Cu, micronutrientes com funções específicas no metabolismo e na sanidade vegetal. Os teores dos elementos potencialmente tóxicos (EPT) são mínimos em relação aos limites estabelecidos na legislação vigente (IN MAPA 05/2016). A composição granulométrica do material apresenta 100% de partículas < 0,3 mm (*filler*). Para atestar a viabilidade de uso agrícola desse “material secundário”, os resultados dos seus efeitos sobre as propriedades físico-químicas do solo e produtividade da cultura foram monitorados e avaliados durante 5 safras agrícolas subsequentes. Os testes foram realizados na Fazenda Curitiba, localizada no município de Peixe, região Sul do Estado do Tocantins. Em 2014 a área que era ocupada com pastagem em certo grau de degradação foi convertida para o cultivo de soja. No plantio da safra 2014/15, sistema convencional, foi obtida uma produtividade de 2.940 Kg ha⁻¹ a um custo associado ao uso de insumos fertilizantes de R\$ 21,25 por saca. Na safra agrícola 2015/2016 foi implantado o sistema de plantio direto sobre palhada de milho em consórcio com *Crotalaria ochroleuca*, e nessa obtida uma produtividade de 2.160 Kg ha⁻¹ a um custo de R\$ 14,89 por saca produzida. O manejo comparativo com o uso do “material secundário” da CBM Mineração foi iniciado na safra 2016/2017, a partir

da situação descrita na safra anterior, com a delimitação de dois talhões de 25 ha: 4A com aplicação do material; e 4B sem a aplicação do material. Todos os demais procedimentos de manejo foram idênticos para ambos os talhões e em todas as safras subsequentes: inoculação com *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*; adubação foliar complementar com micronutrientes (Co, Mo, Mn, Zn, B, Cu); controle de plantas daninhas, pragas e doenças. No Talhão 4B (sem uso do material) foi registrada produtividade de 4.090 kg/ha a um custo de R\$ 14,23 por saca, enquanto no talhão 4A (com uso do material) foi obtido 4.020 kg ha⁻¹ a R\$ 15,49 por saca produzida. Na safra 2017/2018, com um sistema bem consolidado e condições climáticas bastante favoráveis, o talhão sem o uso do material (4B) produziu 4.050 kg ha⁻¹ a R\$ 10,92 por saca, superado pelo talhão com o uso do material (4A) onde a produtividade foi de 4.140 kg ha⁻¹ a um custo de R\$ 6,73 por saca de soja produzida. Na safra seguinte (2018/2019) os resultados do manejo com uso do material da CBM foram ainda melhores, pois com uma produtividade de 3.780 kg ha⁻¹ a um custo de R\$ 7,51 por saca, superou os 3.570 kg ha⁻¹ produzidos a um custo R\$ 13,66 por saca obtidos no manejo sem o uso do material da CBM. Esses resultados permitem afirmar que o uso do “material secundário” da CBM substitui satisfatoriamente a adubação com cloreto de potássio (KCl). O custo médio com insumos fertilizantes por hectare no manejo agrícola envolvendo o uso do material secundário da CBM foi 23% menor que o manejo envolvendo fertilizantes convencionais, economia esta que chegou a 44% na última safra (2018/19).

MÉTODOS COMPARATIVOS DE CARACTERIZAÇÃO MINERALÓGICA DE MATERIAIS PASSÍVEIS DE USO PARA REMINERALIZAÇÃO DE SOLOS

Gustavo Rosa de Almeida¹, Paola F. Barbosa², Suzi Huff Theodoro³,

^{1,2,3}Universidade de Brasília geol.rosag@gmail.com¹, paolabarbosa@unb.br¹, suzitheodoro@unb.br³

A aplicação de pós de rochas - ou remineralizadores de solos - na agricultura vem se consolidando como notável estratégia para solucionar problemas atuais relacionados à segurança alimentar/nutricional, regeneração de solos empobrecidos ou degradados, e também com potencialidades para estabilizar o clima e conter a acidificação dos oceanos. Aliando-se a essas possibilidades, outra estratégia com potencial econômico e ambiental está ligada ao uso de sub-produtos da mineração. Esses produtos necessitam de estudos de caracterização para garantir um uso mais adequado e seguro, deixando para trás o histórico e potencial passivo ambiental relativo à mineração. Nesse sentido, a Lei 12.890/2013 inseriu os remineralizadores como um tipo de insumo agrícola de uso e comercialização permitidos no Brasil. Com a edição da Instrução Normativa nº 05/ 2016, que estabeleceu as garantias mínimas para os remineralizadores, aumentou-se a segurança para o uso desses materiais geológicos. Considerando tais pressupostos, esse trabalho tem como objetivo comparar o método tradicional de caracterização por petrografia ótica e contagem modal,

com método de mineralogia quantitativa automatizada de alta definição, denominado QEMScan (*Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning electron microscopy*). Foram descritas previamente 6 lâminas delgadas de calcita-quartzo-muscovita-clorita xisto (calcixisto), 5 de quartzo-biotita-muscovita-plagioclásio-granada xisto (micaxisto) e 4 de basalto amigdalóide à celadonita. As análises petrográficas foram acompanhadas da contagem de 1000 pontos por lâmina nas amostras de calcixisto e micaxisto (ambos já registrados como remineralizadores no Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento), cujos teores de quartzo ficaram em torno de 25%, e 600 pontos por lâmina nas amostras de basalto. Também foram realizadas análises de difração de raios-x (DRX) e geoquímica para elementos maiores, menores e traços em cada amostra. As lâminas delgadas e tarugo com respectivas amostras pulverizadas foram metalizadas com carbono e estudadas qualitativa e quantitativamente por meio do analisador QEMScan. Esta técnica mineralógica avançada realiza análise automatizada integrando SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope - Energy-Dispersive Spectroscopy*) com biblioteca mineralógica espectral pré-configurada para produzir mapas mineralógicos quantitativos. A aquisição de dados no QEMScan possibilita a identificação dos minerais de acordo com a proporção de elementos químicos. Este método compara dados obtidos com banco de dados pré-existente, sendo necessária caracterização mineralógica prévia para aplicação do método. Nesse estudo, esta caracterização prévia baseou-se em petrografia ótica e difração de raios-x (amostra total e fração argila). Além destes, outros testes de análise quantitativa diretamente em pós de rocha, não possibilitados nos métodos tradicionais, foram realizados com intuito de fiscalizar produtos comercializados que adequam-se à IN. Nesse caso, as análises mineralógicas qualitativas prévias foram realizadas por DRX - com suporte da fluorescência de raios-x (FRX) - e finalizadas por QEMScan. Pós de rocha derivados micaxisto e calcixisto (mesma fonte dos citados acima), adquiridos em lojas de insumos agrícolas, também foram analisados para comparação com materiais caracterizados previamente. Além destes, outro tipo de material comercializado e sem registro, foi coletado em estoques de lavouras e em floriculturas e analisado. A combinação de técnicas mineralógicas tradicionais e QEMScan mostrou-se um método eficaz na caracterização e fiscalização de materiais utilizados na indústria de remineralização de solos.

SOLUBILIZAÇÃO DE ROCHAS DE UM COMPLEXO CARBONATÍTICO POR BACTÉRIAS

Gabriella L. R. Vaz¹; Antonio N. Zamunér Filho¹; Carlos C. Ribeiro¹; Alessandra Silva²; Gisele Ramos²; e Henrique Torquato².

¹Universidade Federal de Catalão, UFCAT

²CMOC Brasil, Niobras, gabriella_lorrany@hotmail.com

A agricultura é um dos setores mais importantes da economia brasileira e tem contribuído com aproximadamente 30% do Produto Interno Bruto nos últimos 10 anos. As pesquisas que buscam vias alternativas de nutrição de plantas têm papel importante na economia e preservação de recursos

naturais. Assim, os agrominerais surgem como uma opção sustentável, sendo estas matérias-primas de origem mineral (rochas; resíduos de mineração, garimpo e metalurgia) aptas a serem utilizadas na agropecuária com benefícios na fertilidade do solo. Dessa forma, a solubilização de rochas por microrganismos pode ser uma alternativa viável como um produto complementar ao uso de fertilizantes químicos, com o objetivo de fornecer elementos de nutrição de plantas. As rochas em estudo se originam do Complexo Alcalino Carbonatítico II, onde ocorre a exploração de nióbio. As rochas em estudos foram: picrito, riolito, calcário calcítico, calcário dolomítico, anfíbolito e o *blend*, que é a mistura de todas as rochas. Para os ensaios em laboratório quanto à capacidade de solubilização de fosfatos foi utilizado um meio de cultura específico para as bactérias *Staphylococcus aureus* (Gram+) e *Escherichia coli* (Gram-). Para cada rocha foram feitos meios de cultura em três repetições de cada microrganismo, contendo 10g de glicose, 2g de extrato de levedura, 15g de ágar e 1g.L⁻¹ de CaCl₂, ajustando o pH para 6,5. Com o objetivo de visualizar a alteração do pH do meio pelos microrganismos, foi acrescentado o indicador Verde de Bromocresol. Como forma de controle dos testes, foram feitos meios com K₂HPO₄ no lugar da rocha, com e sem indicador. Os diâmetros (ϕ) dos halos de solubilização, percebidos como uma área translúcida ao redor da colônia, e das colônias foram mensurados a cada três dias, utilizando-se um paquímetro. A partir das medidas, foram obtidos os índices de solubilização por meio da relação halo/colônia. Foram feitas análises de variância, em que os dados de crescimento do halo foram submetidos ao teste de Tukey a 5%. Para *E.coli* o Anfíbolito e o calcário calcítico apresentaram os melhores resultados. Já para a *S. aureus* o Anfíbolito, o calcário calcítico e o *blend* apresentaram melhores desempenhos. Os testes de bancada comprovaram que nem todas as rochas avaliadas ofereceram resultados positivos, mesmo com a presença de teores de fosfato em sua composição. A biossolubilização do calcário calcítico e o *blend* se destacaram no geral, se apresentando como uma opção como fonte de nutrientes para as plantas. Neste cenário, foi possível comprovar o efeito positivo das bactérias *Staphylococcus aureus* e *Escherichia coli* na biossolubilização de rochas, proporcionando vantagens agronômicas para o crescimento das culturas. Ainda, enfatiza vantagens para o agronegócio e contribui para os problemas da importação de fertilizantes e do uso de resíduos das empresas mineradoras.

EFEITO DE APLICAÇÃO DE ROCHA FOSFÁTICA EM SOLO DE TEXTURA ARGILOSA

Gilberto Coutinho Machado Filho¹, Ulisses Souza Machado², Mauro Gomes dos Santos¹, João Victor Gonçalves Carline¹, Manoel Mota dos Santos³

¹Doutorando em Produção Vegetal – Universidade Federal do Tocantins coutinhoagro@hotmail.com

²Graduando em Agronomia – Universidade Federal do Tocantins

³Professor Adjunto – Universidade Federal do Tocantins

O uso de fontes de liberação gradativa, como rochas moídas, podem aumentar a eficiência de adubação no manejo da fertilidade do solo. Dessa forma, objetivou-se quantificar a disponibilidade

de nutrientes após incubação de solos com rocha fosfática em solo de textura argilosa. O experimento foi conduzido em laboratório localizado na Universidade Federal do Tocantins - UFT, campus de Gurupi, com delineamento inteiramente casualizados com quatro repetições. Os tratamentos foram: testemunha com apenas correção com calcário + tratamento com aplicação de 150 kg de P_2O_5 ha^{-1} MAP + 4 doses crescentes de rocha fosfática 1, 2, 3 e 4 t ha^{-1} de rocha fosfática extraída em Taipas do Tocantins – TO. A aplicação de calcário foi de 1,5 tonelada ha^{-1} conforme análise química e física do solo. Caracterização granulométrica de 100% passante em 2 mm, 77% passante em 0,3 mm e 45% passante em 0,075 mm, e apresentava as seguintes características químicas: SiO_2 (58,03%), CaO (12,14%), P_2O_5 (9,30%), K_2O (2,57%), MgO (1,72%), Al_2O_3 (7,47%), FeO_2 (3,72%), N_2O (0,12%), TiO_2 (0,40%), MnO (0,30%). A coleta do solo foi realizada em área de vegetação nativa em profundidade de 0 a 20 cm, com classificação textural argilosa contendo argila de 450 $mg\ dm^{-3}$. As amostras foram secas ao ar, peneirada em 2 mm, sendo realizada pesagem e separação em unidades experimentais de 0,5 dm^{-3} . Em seguida realizou-se a aplicação dos tratamentos e os mesmos permaneceram incubados pelo período de 90 dias. Ao longo do período de incubação, as amostras foram mantidas úmidas de acordo com a capacidade de campo. Aos 90 dias após a incubação foram analisadas as seguintes características: pH; Fósforo resina, Cálcio e Potássio. Após os dados serem submetidos a análise de variância, realizou-se comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os resultados demonstraram que houve aumento significativo no valor de pH do solo e nos teores de P e Ca. A aplicação de doses crescentes de rocha fosfática elevou o pH do solo. A aplicação de 3 e 4 toneladas ha^{-1} de rocha fosfática apresentaram disponibilidade de P superior ao tratamento testemunha. A aplicação de MAP e doses de rocha fosfática resultaram em uma elevação no teor de Ca. Não houve aumento significativo para teor de K no solo.

EFICIÊNCIA DE FOSFATO NATURAL PROVENIENTE DE BONITO/MS NO CRESCIMENTO E PRODUTIVIDADE DE MILHO EM SOLO DO CERRADO

Freitas, J.R.⁽²⁾; Leandro, W. M.⁽¹⁾; Silva, M. T.⁽³⁾; Brasil, E. P. F.⁽⁴⁾; Oliveira Jr, J. P.⁽⁵⁾

¹Doutorando em Agronomia / Universidade Federal de Goiás. rjf05@uol.com.br

²Professor titular da Universidade Federal de Goiás. wilsonufg@gmail.com

³Mestrando em Agronomia / Universidade Federal de Goiás. matheusteles_agro@outlook.com

⁴Professora Associada da Universidade Federal de Goiás. elianafernandes.ufg@gmail.com

⁵Professor titular da Universidade Federal de Goiás. juarezufg@gmail.com

Os fosfatos naturais reativos têm sido, ao longo de décadas, testados como fonte alternativa de fósforo às culturas em substituição aos fosfatos solúveis, uma vez que sua obtenção é menos onerosa. Em Bonito no Mato Grosso do Sul foi prospectado jazidas de fosforo com alto potencial agrícola. Desta forma, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de doses

crescentes do fosfato natural de Bonito/MS no milho. O ensaio foi montado na Universidade Federal de Goiás, em campo. Os tratamentos consistiram em doses crescentes do fosfato natural de Bonito (FNB), sendo: 0, ½, 1, 2 e 4 vezes a dose recomendada de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ com dois tratamentos comparativos, que foram superfosfato triplo (SFT) e fosfato reativo de Marrocos (FRM), ambos na dose de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅. O delineamento utilizado foi o de blocos completos casualizados com 4 repetições. Foi feita a análise foliar e estimada a produtividade da cultura após a maturação fisiológica. Posteriormente determinou-se o teor de P no solo. O Fosfato natural de Bonito possui eficiência aproximada ao fosfato reativo de Marrocos em termos de produtividade de grãos, teor foliar e no solo, sendo observado seu potencial para uso em sistemas produtivos.

GESSO RECICLADO E REMINERALIZADORES DE SOLO: EFEITOS E POTENCIALIDADES PARA MELHORAR O PERFIL PRODUTIVO DO CERRADO

Hélio Pereira Feitosa¹; Suzi Huff Theodoro²

¹ PPG em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, Universidade de Brasília arkeyd@gmail.com

² Professora no PPG em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, Universidade de Brasília suzitheodoro@unb.br

Devido principalmente a baixa dureza, a solubilidade e a presença de enxofre os resíduos de gesso da construção civil podem promover a contaminação do ar, do solo e do lençol freático. Entretanto, essas mesmas características possibilitam sua reciclagem e utilização como insumo agrícola com resultado semelhante ao gesso agrícola em ganho de produtividade no cultivo de culturas anuais. Também os remineralizadores de solo têm ampliado o uso de materiais de origem geológica com a finalidade robustecer a fertilidade dos solos, conforme previsto nos princípios da tecnologia da Rochagem. Assim, a combinação desses tipos de materiais pode promover mudanças importantes no solo, tais como a redução da toxidez de alumínio, a elevação do pH e a ampliação da oferta de nutrientes. Diante dessa possibilidade, o presente trabalho apresenta os resultados da pesquisa que buscou analisar a viabilidade técnica da utilização de gesso reciclado associado com um remineralizador (rocha calco-xisto) para potencializar resultados agrícolas. Foi implementado um experimento para avaliar o desempenho a campo desses materiais como insumo para neutralização do alumínio trocável e disponibilização de cálcio mais magnésio trocável no solo. A área experimental contou com nove tratamentos e quatro repetições distribuídos de forma casualizada em 36 unidades experimentais medindo 2 x 2 m, com 0,5 m de distância entre as elas resultando em uma área total de 241,5 m². O desempenho do Gesso Reciclado (GR) e do Remineralizador (R) foram comparados com outros insumos: Gesso Agrícola (GA), o NPK (4 - 14 - 8), Controle (C) e as misturas de NPK + GR; NPK + GA; R+GR e R+GA. Para avaliação dos tratamentos considerou-se o Rendimento Biológico aparente (R_{Ba}),

o Índice de Colheita aparente (ICa), o Cálcio, o Enxofre, o Cálcio mais Magnésio e a CTC do solo. Após o ciclo completo da cultura de milho foram coletadas amostras de solo de todos os tratamentos e de indivíduos em todas as parcelas. Quanto ao solo, observou-se que o gesso reciclado, quando não foi semelhante ao gesso agrícola, foi mais eficiente na neutralização do alumínio trocável e na melhoria nos índices de Capacidade de Toca Catiônica (CTC). Quanto à produção vegetal, verificou-se que não houve diferença significativa entre as parcelas que continham o gesso reciclado e o gesso agrícola. Entre os tratamentos constituídos por misturas que tiveram o gesso reciclado na sua composição, o que apresentou melhores resultados produtivos foi a associação ao remineralizador. Quanto à CTC e a sua saturação por alumínio trocável (m%) de forma conjunta, verificou-se que o tratamento com gesso reciclado apresentou o melhor resultado obtendo o maior aumento da CTC ao concomitante à maior redução da %m. Nesse aspecto o remineralizador também se destacou nos tratamentos nos quais foi misturado ao gesso agrícola ou ao reciclado, possivelmente porque enquanto o enxofre do gesso reagiu com o alumínio aumentando a CTC, o cálcio do remineralizador somado ao cálcio do gesso diminuíram m%. Concluiu-se que o gesso reciclado é tecnicamente um substituto eficiente para o gesso agrícola e que incorporado com remineralizadores tem suas potencialidades aumentadas.

DIFERENTES DOSES DE BASALTO AMIGDALOIDE DA REGIÃO CENTRAL DE GOIÁS E SUAS INTERAÇÕES NA INCUBAÇÃO DE DOIS TIPOS DE SOLO DE PARAÚNA

Herman Pedrozo Ferro¹; Éder de Souza Martins²

¹ITEGO, COTEC – CDTM, Centro de Desenvolvimento Mineral, Goiânia. GO, Brasil

²Embrapa Cerrados, Brasília, Brasil c errado92@gmail.com

O objetivo do trabalho é avaliar o potencial do Basalto Amigdalóide e Argilas (rocha vulcânica) da formação Serra Geral do município de Paraúna – GO na concentração de nutrientes nos solos analisados e avaliar as doses de aplicação por ha (hectare). Foi utilizado um Latossolo Vermelho Argiloso e um Neossolo Quartzarênico Arenoso. Os tratamentos consistiram da incorporação e incubação com diferentes doses de pó de rocha basalto calculadas pela Necessidade de Calagem do basalto em referência ao Calcário PA. Para o solo argiloso obtive o valor de 1,4g de Calcário PA e para o arenoso uma dose de 1g de Calcário PA. A dose de basalto ficou em 6g para o argiloso e 5g para o arenoso. Doses estudadas: zero, meia, uma, o dobro e o triplo. A granulometria utilizada no estudo foram duas, uma de 2mm (50% menor do que 0,3 mm do basalto amigdalóide com soma de base igual a 12% e os outros 50% entre 2 mm e 0,3 mm do mesmo basalto amigdalóide saprolizado com soma de base de 9%) e a outra granulometria menor do que 0,3mm (100% da rocha com soma de base igual a 12% (rocha mais sã)). O experimento consiste em 5 tratamentos com 04 repetições durante 60 dias em potes de plástico de 380ml. Após o período de incubação

do solo foi analisado os elementos Ca, Mg, K, P, pH, Zn, Saturação de Bases e o Calcário PA nas doses zero, meia, uma, o dobro e o triplo. Os teores de P aumentaram muito em ambos os solos na granulometria abaixo de 0,3mm. Teores consideráveis de Ca, Mg, K, e Zn também foram notados. Com relação a correção do pH do solo, o pó de basalto demonstrou ótimo resultado em solo arenoso da região e mais estável a variação de dose. As doses: meia dose, dose, e o dobro mostraram bons resultados para todos os elementos. As doses referentes ao fósforo aumentam gradualmente com o aumento da dose.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E MINERALÓGICA DE UMA ROCHA RIOLÍTICA PARA REMINERALIZAÇÃO

Isadora B. Neiva¹, Andrea Sander² e Antonio N. Zamunér Filho¹.

¹Universidade Federal de Catalão antoniozamuner@ufcat.edu.br

²Serviço Geológico do Brasil, CPRM isadoraborgesneiva@gmail.com

O Brasil se apresenta como uma das maiores potências no campo agrícola, o que o torna, também, um dos maiores consumidores de fertilizantes. Visto que a produção nacional destes não é suficiente para atender a demanda nacional, como por exemplo o potássio onde 95% é importado, alternativas para a nutrição das lavouras se faz necessário. Dessa forma, a busca de novas técnicas de adubação, como os remineralizadores, apresentam aspectos promissores. Diante dessa necessidade, o aprofundamento em estudos se torna importante e, através de uma revisão sistemática recente, pode-se observar que o número de publicações no período de 2009 a 2018 foi de 43 trabalhos, sendo o Brasil o primeiro da lista. Diante deste fato, investigar a geologia local se torna importante pois esta pode prover a matéria-prima para a produção agrícola regional. Assim, verificou-se através de análises geológicas que o Complexo Alcalino Carbonatítico Catalão II, em Catalão-GO, possui a rocha riolito a qual foi submetida a análises químicas e caracterização mineralógica, possibilitando determinar que esta possui atributos que a qualificam como um remineralizador. A composição química total dos principais óxidos constituintes do riolito estudado foi: SiO₂ = 56,5%; Al₂O₃ = 11,9%; Fe₂O₃ = 5,90%; CaO = 2,91%; MgO = 3,22%; TiO₃ = 0,67%; P₂O₅ = 0,14%; Na₂O = 1,89%; K₂O = 11,9% e MnO = 0,12%. Com relação à soma de base (CaO + MgO + K₂O), o resultado é de 18,03%, teor satisfatório quando comparado com a exigência mínima da IN 05 (≥ 9%). O mesmo acontece para o óxido de potássio (K₂O), onde o valor quantificado foi de 11,9% e a exigência da norma é igual ou superior a 1%. Outro fator importante é que o conteúdo total dos elementos tóxicos arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) e chumbo (Pb) foram (em ppm): <1; 0,09; <0,05; e 22,50 respectivamente. Todos se encontram abaixo dos valores estabelecidos pela IN 05, conferindo segurança alimentar e ambiental para o uso desse material. Efeitos prejudiciais destes elementos tóxicos podem ser

encontrados em plantas, animais e no homem. O uso da rocha como remineralizador de solos é favorável, pois se encontra bastante alterada, com a presença de illita, um mineral portador de K, assim como o ortoclásio, que se encontra em grão extremamente fino e em processo de alteração, possivelmente liberando o K. Ainda estão presentes outros minerais alcalinos, como a aegirina, grupo mineral potencial fornecedor de Na, Ca e Fe e a calcita, rica em Ca. Neste cenário, os resultados comprovam a potencialidade do riolito estudado como remineralizador de solos, ao passo que ressalta as vantagens para o setor agropecuário nacional em termos de nutrição de culturas e contribui para minimizar os problemas da importação de fertilizantes e do uso de resíduos das mineradoras.

LIBERAÇÃO DOS CÁTIONS BÁSICOS Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ E Na^+ POR DIFERENTES REMINERALIZADORES

Ivan Granemann de Souza Junior¹, Antônio Carlos Saraiva da Costa², Bruno Ribeiro Ferreira³

¹Doutor, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. ivangsjunior@gmail.com.

²Professor Associado III, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. acscosta@uem.br

³Engenheiro. Agrônomo, Pedreira Ingá. bruno@pedreirainga.com.br.

Os solos altamente intemperizados das regiões tropicais úmidas geralmente apresentam baixa concentração de cátions básicos trocáveis como o cálcio (Ca^{2+}), magnésio (Mg^{2+}), potássio (K^+) e sódio (Na^+) devido as perdas decorrentes do processo de lixiviação, que resulta também na intensa perda de sílica (H_4SiO_4). Como consequência, ocorre o acúmulo dos cátions de reação ácida como o H^+ e o Al^{3+} , mineralogia da fração argila é dominada pela caulinita (que apresenta baixa capacidade de troca catiônica), além do acúmulo dos óxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Em função do baixo potencial de reserva e da baixa capacidade de fornecimento de nutrientes desses solos, sua utilização nos sistemas produtivo visando altas produtividades requer a adoção de práticas de correção e fertilização, feita pelo uso de corretivos para elevação do pH e fornecimento de Ca e Mg e pelo uso de fertilizantes para o fornecimento dos demais nutrientes. Uma alternativa viável e sustentável para melhoria nos atributos químicos desses solos é a utilização de remineralizadores por meio da aplicação de pós de rochas ou rochagem. Todavia, o sucesso dessa prática requer a utilização de rochas que sejam capazes de repor ao solo os elementos perdidos ou requeridos pelas culturas, promovendo assim o rejuvenescimento do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de liberação dos cátions básicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e a alteração do pH da solução do solo utilizando oito pós de diferentes rochas (arenito, folhelho, calcário, siltito, granito, ardósia, mármore e micaxisto) de origem sedimentar, metamórfica e magmática. As rochas foram moídas e passadas pela peneira com malha de 0,5 mm. Em outro experimento utilizou-se basalto e calcário moídos nas granulometrias >2,00; 2,00-0,84; 0,84-0,30 e <0,30 mm. Uma massa de 10 gramas de cada material foi pesado e transferido

para frasco plástico com capacidade de 125 mL, onde foram adicionados em cada material 100 mL de H₂O deionizada ou de HCl 0,1 mol L⁻¹, mantendo-se durante 120 dias sob agitação periódica. Após esse período determinou-se, na solução sobrenadante, o pH das amostras que receberam H₂O e os teores Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Na⁺ tanto nas amostras que receberam H₂O quanto HCl. As diferentes granulometrias influenciaram muito pouco nos valores de pH tanto do basalto quanto do calcário. Os valores de pH foram maiores do que 8,0 resultado da liberação de hidroxilas durante a hidrólise dos minerais presentes nessas rochas e da liberação dos cátions básicos. Para estas rochas os teores de Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺. Nas oito rochas avaliadas, os teores de bases determinados na solução sobrenadante de HCl foram sempre maiores que aqueles determinados em H₂O, havendo correlação positiva e significativa entre os teores de Ca²⁺ e Mg²⁺ nas duas formas de extração, mas não entre os teores de K⁺ e Na⁺, resultado da influência da mineralogia das rochas na liberação dos cátions.

BIOSOLUBILIZAÇÃO DE PÓS DE ROCHA

Julio Cesar Raposo De Almeida¹, Ana Aparecida Silva Almeida¹, João Luis Gadioli¹, Vinicius Belussi Uliana^{2,3}, Vinicius Azeredo^{2,4}.

¹Docente Universidade de Taubaté; ²Estudante de Agronomia; ³Bolsista PIC/UNITAU; ⁴Bolsista FAPETI/UNITAU.

jcraposo@uol.com.br

Presente em um grande número de rochas, o potássio (K) é um nutriente encontrado em formas insolúveis ou pouco solúvel o que dificulta sua disponibilidade para as plantas. Objetivando avaliar a contribuição do processo de compostagem do esterco bovino na solubilização do K proveniente de três materiais silicáticos foi instalado um experimento em vasos com 11 tratamentos: controle (C), esterco (E), pó de biotita (B), pó de gnaiss (G), pó de nefelina sienito (N), pó de biotita e esterco (BE), pó de gnaiss e esterco (GE), pó de nefelina e esterco (NE), pó de biotita 45 dias após a adição do esterco (EB), pó de gnaiss 45 dias após a adição do Esterco (EG) e pó de nefelina 45 dias após a adição do Esterco (EN). Os pós de rocha foram aplicados ao solo em doses equivalentes a 120kg de K₂O/ha e o esterco na dose de 35 Mg ha⁻¹ (70 g/vaso). Os materiais foram aplicados no Latossolo Vermelho Amarelo distrófico (358 g kg⁻¹ de argila) e, posteriormente adicionou-se água para manter a umidade em torno de 70% o solo da capacidade de campo por 45 dias. Após esse período, aplicou-se calcário dolomítico (8 t ha⁻¹, PRNT=68%) para se elevar a saturação por bases para 70% e incubou-se novamente por mais 45 dias. Cada unidade experimental (vaso de 4 kg de solo) recebeu 3 g de superfosfato simples (18% P₂O₅) e logo em seguida procedeu-se o cultivo de cebolinha por 90 dias e de *Brachiaria humidicola* por mais 90 dias. Durante o desenvolvimento das culturas foram realizadas adubações nitrogenadas, aplicando-se 15mL de solução de sulfato de amônio (0,5 mol L⁻¹) por

cobertura. Avaliou-se a produção de matéria seca da parte aérea e teor de K cada componente e, a partir dessas medidas estimou-se o acúmulo de K (mg/vaso) e também a Eficiência Relativa (%) dos tratamentos em relação ao tratamento C. Os resultados foram submetidos a análise de variância e comparação de médias pelo teste Tukey ($p < 0,05$). Observou-se que o acúmulo de K no tratamento E (452 mg vaso^{-1}) foi 49% maior que no tratamento C (304 mg vaso^{-1}). Em relação a aplicação dos materiais silicáticos *in natura* (B=330, G=275 e N=253 mg vaso^{-1}) não foi constatado aumento da disponibilidade de K para as plantas, pois não se diferenciaram do C. A aplicação materiais silicáticos associados com esterco antes (BE=454, GE=457 e NE=497 mg vaso^{-1}) ou após o processo de compostagem (EB=455, EG=431 e EN=394 mg/vaso) não alterou a disponibilidade de K para as plantas pois não se diferenciaram do tratamento E. Considerando o tempo de duração e as condições em que esse trabalho foi desenvolvido, conclui-se que o processo de compostagem não contribuiu de modo eficaz para a solubilização de ou K contido nos pós de biotita, gnaïsse e nefelina sienito.

AÇÃO BIOINTEMPÉRICA DE PLANTAS DE COBERTURA SOBRE FONOLITO E GLAUCONITO

Keise Duarte Bacelar; Davi Leite de Souza; Tadeu Bernardes Marques; André Mundstock Xavier de Carvalho.

Universidade Federal de Viçosa - Campus Rio Paranaíba. davicapitolio1997@gmail.com

Os baixos teores de nutrientes e a lenta liberação dos mesmos são as duas principais limitações ao uso de remineralizadores. O uso de plantas de cobertura com melhor capacidade biointempérica, cultivadas antecipadamente ou em consórcio com a cultura de interesse pode acelerar o intemperismo dos minerais. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial biointempérico de diferentes plantas. Para tal, um experimento em casa de vegetação foi conduzido em vasos. O experimento consistiu de duas etapas, na primeira foram cultivadas as plantas de cobertura, que após o florescimento ou passados 60 dias, foram cortadas e incorporadas no solo, aonde na segunda etapa foi cultivado milho. Adotou-se um esquema fatorial $(7 \times 2 \times 2) + 1$, aonde foram avaliadas seis espécies de plantas de cobertura, leucena (*Leucaena leucocephala*), guandu (*Cajanus cajan*), crotalária (*Crotalaria juncea*), picão-preto (*Bidens pilosa*), mamona (*Ricinus communis*) e braquiária (*Brachiaria decumbens cv Basilisk*), contendo também um controle sem planta, em combinação com dois remineralizadores (fonolito e verdete), submetidos a dois modos de aplicação, (anterior ao cultivo das plantas de cobertura e anterior ao cultivo do milho) e um controle absoluto, sem rocha e sem planta. Foram determinadas as quantidades de K, P e Si contidos nas plantas de cobertura e no milho, e suas respectivas massas secas nas partes aéreas. Também foi avaliado os teores desses mesmos nutrientes no solo ao final do experimento. O picão acumulou mais K e o guandu mais Si, quando o solo foi fertilizado com fonolito. As demais plantas apresentaram teores semelhantes em relação às duas fontes testadas.

As plantas de milho, cultivadas posteriormente à crotalária e ao guandu, com antecipação da aplicação, apresentaram os maiores teores de Si e K. A biodisponibilização total, quantidade de nutrientes contidos nas plantas (milho e de cobertura) em adição com o que restou disponível no solo, diferiu em relação às fontes testadas e às espécies cultivadas. Nesse sentido, fica evidente a necessidade de estudos que consigam mostrar os mecanismos utilizados pelas plantas mais eficientes na absorção de nutrientes provenientes de rochas moídas visando aprimorar estratégias de fertilização com plantas de cobertura.

DESENVOLVIMENTO INICIAL DE CAPIM MOMBAÇA EM FUNÇÃO DO USO DE ADUBOS ALTERNATIVOS

Layanara Oliveira Faria¹, Ane Gabriele Vaz Souza¹, Pedro Henrique Nascimento Cintra¹, Adilson Pelá², Westefann Santos Sousa¹, Thiago Souza Campos¹, Osmanny Francisco Pereira de Melo¹

¹ Mestrandos em Produção Vegetal, Universidade Estadual de Goiás, campus Ipameri. layanara.agro@hotmail.com.

² Prof. Dr. da Universidade Estadual de Goiás, campus Ipameri.

A principal fonte de alimento da bovinocultura no Brasil são as forrageiras, porém o manejo nutricional destas gramíneas possui fatores limitantes ao seu desenvolvimento, aos quais práticas inadequadas de adubação e correção podem reduzir a produtividade por hectare e a taxa de lotação. A avaliação de fontes alternativas de adubação em comparação com as convencionais se faz necessário, pois a associação de remineralizadores com fertilizantes orgânicos tem se destacado, pelo custo reduzido e por potencializar a qualidade nutricional e produtividade das forrageiras. Dessa forma, o estudo teve como objetivo avaliar o efeito de adubos alternativos no desenvolvimento inicial de capim Mombaça. O trabalho foi desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Estadual de Goiás, campus Ipameri, sendo constituído por 30 unidades experimentais, sob o delineamento inteiramente ao acaso com seis repetições, compreendendo cinco tratamentos: adubação convencional; orgânica; convencional + orgânica; orgânica + remineralizador; convencional + remineralizador. as fontes convencionais utilizadas foram: ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, nas doses de 180 kg ha⁻¹ de N; 90 kg ha⁻¹ de P e 140 kg ha⁻¹ de K. Já para fonte orgânica foi utilizado o esterco avícola (40 Mg ha⁻¹) e para o remineralizador o pó de rocha micaxisto (5 Mg ha⁻¹). A semeadura foi realizada utilizando 10 sementes da forrageira *Panicum maximum* cv. Mombaça, 20 dias depois da emergência realizou-se o desbaste mantendo apenas três plantas por vaso. Após 50 dias da semeadura, foram determinados o número de perfilhos por plantas, pela contagem; a altura das plantas com o auxílio de um instrumento graduado em três pontos do vaso; o teor de clorofila medidos pelo aparelho clorofilômetro, efetuadas em 3 folhas recém expandidas; após realizou-se o corte a 10cm do solo coletando separadamente as folhas e os colmos para determinação da relação folha/colmo e posterior obtenção de massa fresca e seca total. Os resultados obtidos foram

submetidos à análise de variância e para comparação das médias dos tratamentos com diferentes fontes nutricionais realizou-se o teste de Skott-Knott ao nível de 5% de significância. Para as variáveis analisadas houve diferença estatística entre os tratamentos para número de perfilhos, massa fresca total, massa seca total e relação folha/colmo, já altura de plantas e índice de clorofila não houve diferença significativa. A adubação convencional + remineralizador obteve as menores médias para massa fresca total, massa seca total e número de perfilhos, já as adubações orgânicas e remineralizador + orgânica foram os tratamentos que exibiram as maiores médias para as mesmas variáveis, sendo portando onde o capim Mombaça apresentou maior potencial de desenvolvimento inicial.

PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DE UMA BASE DE DADOS DA LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS DE REMINERALIZADORES PARA A AGRICULTURA BRASILEIRA

Luciôla Alves Magalhães¹, Gisele Freitas Vilela², Éder de Souza Martins³, Giuliano Marchi⁴, Cristiani Kano⁵

¹Embrapa Territorial, luciola.magalhaes@embrapa.br

²Embrapa Territorial gisele.vilela@embrapa.br

³Embrapa Cerrados eder.martins@embrapa.br

⁴Embrapa Cerrados, giuliano.marchi@embrapa.br

⁵Embrapa Territorial, cristiaini.kano@embrapa.br .

O uso de remineralizadores no manejo da fertilidade dos solos e como fonte de nutrientes para as plantas tem sido uma alternativa reconhecida por produtores rurais de várias partes do país no aumento da sustentabilidade econômica e ambiental de suas propriedades. O país importa 77% de seus fertilizantes e os altos custos logísticos existentes em diversas regiões do país são problemas evidenciados no contexto operacional da agropecuária brasileira. Avaliar a distribuição e a qualificação dos títulos minerários situados em áreas com litotipos potenciais para uso na agricultura como remineralizadores de solo é fundamental visto que tais depósitos minerais podem efetivamente atender parte da demanda de fertilizantes. O projeto apresentado visa prover dados e informações, a partir de um bando de dados espaciais estruturado, que subsidiem a exploração de jazidas brasileiras com foco no reaproveitamento dos seus subprodutos como remineralizadores com potencial uso na agricultura possibilitando a substituição gradativa da importação de insumos tradicionais, reduzindo custos de produção, diminuindo as dependências regionais e garantindo ganhos na logística agropecuária. A base de dados será incorporada ao “Sistema de Inteligência Territorial Estratégica da Macrologística Agropecuária Brasileira” em desenvolvimento pela Embrapa Territorial. O sistema poderá ser utilizado pelo poder público no estabelecimento de novas políticas de incentivo à adoção dos remineralizadores pelos produtores rurais e pelo setor privado em atividades de orientação e

apoio nas tomadas de decisão relacionadas à logística dos insumos para nutrição mineral das plantas. Este banco de dados também pretende organizar e disponibilizar, em bases territoriais, informações consolidadas sobre o uso de remineralizadores relatados nas principais referências técnico-científicas nacionais e internacionais. No banco de dados estarão contempladas informações como o tipo de rocha utilizada, em qual cultura foi aplicada, em qual tipo de solo, as dosagens, o resultado obtido (positivo, negativo ou neutro) e principalmente, o local de aplicação. Também deverá ser fornecido o link de acesso para os trabalhos científicos que alimentaram o banco de dados.

RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ROCHAS ORNAMENTAIS: PERSPECTIVAS DE APROVEITAMENTO COMO AGROMINERAIS, NO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO

Magda Bergmann¹; Nicole Montanari da Silva^{1,2} Andréa Sander^{1,3}; Vanildo Almeida Mendes¹; Valter Salino Vieira¹, Marlon Marques Coutinho¹.

¹Serviço Geológico do Brasil magda.bergmann@cprm.gov.br; andrea.sander@cprm.gov.br; nicole.silva@cprm.gov.br; vanildo.mendes@cprm.gov.br;

² Graduanda do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da UFRGS. valter.vieira@cprm.gov.br;

³Instituto Tecnológico em Micropaleontologia, ITT FOSSIL, Universidade do Vale do Rio dos Sinos. marlon.coutinho@cprm.gov.br

A indústria de rochas ornamentais se destaca no setor de exportação brasileiro, movimentando recursos da ordem de U\$1,5 bilhões, enquanto o mercado interno atinge R\$ 10 bilhões ao ano. A destinação de resíduos do corte e polimento das rochas representa custo adicional de produção, e neste trabalho se enfoca o organograma do beneficiamento de blocos, apontando oportunidades e restrições ao aproveitamento dos resíduos de rocha ornamental. O processo de beneficiamento inicia-se com o envelopamento de blocos, na lavra ou na marmoraria, com uso de tecido e resina epóxi. A proporção de envelopamento varia entre 0% e 100% dos blocos envelopados, caso de rochas muito fraturadas. Segue-se o corte dos blocos, por tear convencional ou multifio. O primeiro envolve o uso de bentonita, cal e granalha (ferro-liga, 1 t por bloco serrado), inviabilizando o aproveitamento dos resíduos pela quantidade de granalha. Nos teares multifio o corte é realizado com fio diamantado e uso de água, após o bloco ser sulcado em duas faces. Nesta fase do beneficiamento o resíduo gerado tem proporção de epóxi estimada em 0,5%, para blocos envelopados. A fase de polimento pode empregar ácidos em algumas rochas, e emprega abrasivos diamantados, além de resina em aproximadamente 80% das chapas, o que eleva a proporção de epóxi a 5% nos resíduos de polimento de chapas cortadas em 2 cm. Na operação rotineira das indústrias os resíduos de corte de tear convencional, multifio e do polimento são direcionados para poço comum, embora já esteja disponível tecnologia para recuperar os finos de serragem bloco a bloco, através de sistema de coleta, depuração de água e desidratação de sólidos que

permite armazenamento em separado. Mesmo restrita às empresas que usam exclusivamente teares multifio, e à fase de corte dos blocos, a recuperação dos finos isentos de contaminantes pode envolver até 90% dos resíduos de marmoraria. O aproveitamento para fins de uso agrícola dos finos de marmoraria implica no cumprimento dos critérios da IN MAPA 05/2016, e como tal a produção deve ser organizada por litotipos, para manter mínima constância de composição. Outra possibilidade se relata a empresas voltadas à produção exclusiva de litotipos como o gabro norítico “Preto São Gabriel”, com alto valor de mercado, no estado do Espírito Santo. A rocha ocorre na Supersuíte G5, complexo de idade cambro-ordoviciana, ao longo do feixe de fraturas Colatina, que por sua vez aloja rochas vulcânicas e sub-vulcânicas de composição andesítica, da Suíte Fundão, de idade do Cretáceo Inferior. A afinidade composicional das rochas envolvidas nas frentes de lavra favorece o aproveitamento dos descartes, que têm potencial enquanto fontes de Ca, Mg e Si, além de teores de P_2O_5 , que podem ultrapassar 1,5% no gabro. Concluindo, o processo de beneficiamento de Rochas Ornamentais gera finos aproveitáveis para uso agrícola se considerada somente a operação de teares multifio, antes da fase de polimento. Alguns arranjos produtivos que envolvem rochas afins, em especial aquelas com pequena quantidade de quartzo, podem representar oportunidades para remineralização de solos, tanto de descartes da fase de lavra bem como de beneficiamento.

ROCHAGEM NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NA PRODUTIVIDADE DA SOJA

Mariana Manzato Tebar¹, Rodrigo Bastos Rodrigues², Alessandra Mayumi Tokura Alovisi³

¹Discente de Agronomia da UFGD; marianatebar19@gmail.com

²Discente de Agronomia da UFGD; rodrigob.rodrigues@hotmail.com

³Docente do curso de Agronomia da UFGD; alessandraalovisi@ufgd.edu.br .

Historicamente, o agronegócio é responsável por um quinto do PIB brasileiro. Contudo, existe uma dependência de insumos químicos importados, o que encarece os custos de produção neste setor. Isto deve-se a baixa oferta de insumos nacionais eficientes no mercado. Sendo assim, em 2016, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) publicou a Instrução Normativa n° 5 que regulamenta o registro, comercialização e uso dos remineralizadores na agricultura. O pó de rocha possui solubilidade e estrutura menores que o adubo químico, desta forma possui potencial ao ser incorporado como uma segunda fonte de nutrientes de liberação lenta para as plantas, além disso é um subproduto da mineração, sendo disponível grande quantidade de pó de rocha basáltica na pedreira Esteio em Dourados, MS. Diante disso, este trabalho objetivou estudar a influência do pó de rocha basáltico nos atributos químicos do solo e na produtividade da soja. O delineamento experimental foi de blocos casualizados em esquema fatorial (5x2), testando cinco doses de pó de rocha (0; 2,5; 5,0; 7,5 e 10,0 Mgha⁻¹), com ou sem

adubação química de NPK na formulação 5-25-6 na dose 200 Kg ha¹, com quatro repetições. O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental de Ciências Agrárias (FAECA) da Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD). Após a colheita da soja foram avaliadas altura da planta (ALT), diâmetro do coleto (DC), número de vagens por planta (NVP), produtividade de grãos (PROD), teor de nutrientes foliares e atributos químicos do solo, em função das doses de pó de basalto e da adubação química complementar. Não houve interação entre o residual das doses de pó de basalto e adubação química complementar na análise foliar e nos atributos químicos do solo. Houve efeito isolado do residual das doses de pó de basalto para os nutrientes P, Cu e Zn na folha. O pó de rocha pode ter atuado na formação de um estoque de fósforo a ser disponibilizado a médio e longo prazo e possível efeito residual em função de sua disponibilização gradual para as plantas em sucessão. Dessa forma, para a variável P, houve redução linear, possivelmente devido ao efeito da diluição que consiste em aumentos de P na planta, neste caso as folhas, acrescentando este elemento nos tecidos no início da cultura e diminuindo gradualmente até o fim do ciclo. Para Cu e Zn houve ajuste quadrático. Os teores foliares reduziram ao aumentar as doses de pó de rocha e, ao final da curva (dose de 10 Mg ha⁻¹), aumentaram novamente. Possivelmente isto ocorreu pelo efeito da adsorção dos nutrientes no solo e, após atingirem saturação, voltaram a apresentar maior disponibilidade. Isto demonstra que, possivelmente, o pó de rocha foi eficiente na granulometria, como um fornecedor de bases trocáveis para o Cu e Zn. Dessa forma, o pó de rocha basáltica pode atuar como fonte complementar aos fertilizantes, fornecendo gradualmente elementos como P e micronutrientes, como Zn e Cu, devendo-se levar em conta o manejo e tipo de solo utilizados.

PROSPECÇÃO DE ROCHAS BASÁLTICAS NO SUDESTE DE GOIÁS COMO POTENCIAL PARA ROCHAGEM

Mariarosa Fernandes de Sousa¹ Gilberto Carneiro Filho²; José de Sousa Neto³

¹ Instituto Federal Goiano – Campus Avançado Catalão. mariarosa.sousa@ifgoiano.edu.br

² Profissional Autônomo gilberto_carneirofilho@hotmail.com

³ JN Consultoria Geológica e Mineração. netogel@hotmail.com

O solo é um recurso essencial para a sociedade pois proporciona a produção dos diferentes alimentos. Os insumos utilizados na agricultura buscam na mineração os recursos para produtos que neutralizam e nutrem os solos para receberem as plantações. O Brasil se tornou um celeiro agrícola e a demanda por estes insumos aumentam a cada ciclo. Portanto, a cada ciclo o solo precisa se renovar para se manter produtivo. As rochas fosfáticas e potássicas são reconhecidas como as principais fontes de insumos para os fertilizantes do tipo NPK. Quando se analisa estes recursos o Brasil ainda importa estes tipos de minérios, principalmente o potássio. Em função desta dependência econômica, a política mineral estratégica do país vem estudando como fonte

de nutrientes alternativos o uso de rochas siliciclásticas. Considerando então a rochagem e o uso agrônômico das rochas basálticas já estudadas em algumas pesquisas no Brasil, este trabalho objetiva identificar áreas em potenciais para a exploração mineral de basaltos da Formação Serra Geral na região sul de Goiás. A Formação Serra Geral é uma unidade litoestratigráfica do Cretáceo da Bacia do Paraná. Na região da divisa entre os estados de Minas Gerais e Goiás exposições desta unidade são descritas na região do Triângulo Mineiro, outras ocorrências mapeadas pela CPRM estão às margens do Rio Paranaíba em Goiás. Os principais nutrientes reconhecidos na geoquímica de basaltos da Fm. Serra Geral são o Mg, Ca, Si, Fe, Mn, Zn, entre outros. A mineralogia principal constituída por silicatos como o plagioclásios, piroxênios, localizadamente são encontrados argilominerais e mineraloides, substâncias estas que possuem maior capacidade de troca catiônica (CTC). Os métodos utilizados neste trabalho são basicamente o mapeamento geológico para a identificação de alvos e prospectos, coleta de amostras, e também como ação posterior, a caracterização petrográfica no intuito de descrever as texturas e estimar mineralogia e composição química das rochas. A prospecção por rochas potenciais na região sul de Goiás se justifica pela presença da agricultura extensiva que já demanda por muitos insumos no estado de Goiás. Em paralelismo, a técnica de fertilização do solo por meio de pó de rochas tem histórico com pequenos produtores, o que também pode contribuir para um modelo socioeconômico inclusivo local. O tema da sustentabilidade é também trabalhado no tema da rochagem quando analisado o potencial das porções estéreis e materiais de rejeitos da mineração, sendo este basalto muito utilizado na produção de britas e materiais para a construção civil. Como resultados deste trabalho, os mapas e perfis com informações que delimitam estes corpos rochosos em associação com as caracterizações petrográficas são indicadores para discussões sobre o possível aproveitamento econômicos das rochas basálticas do sul de Goiás.

UTILIZACION DE BIOINSUMOS EN EL CULTIVO DE *PASPALUM ATRATUM* CV. CAMBÁ FCA

Krynski Mariel A.¹, Romero Amalia M.¹, Urbani Mario H.², Iglesias María C.¹

¹Cátedra de Microbiología Agrícola ²Cátedra de Forrajicultura. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131 Corrientes Capital CP3400. *amaromero86@hotmail.com

Una buena nutrición del recurso forrajero permite aumentar la productividad, mejorar la calidad y optimizar el período de aprovechamiento del mismo. Esto podría lograrse mediante la incorporación de los abonos orgánicos y la roca basáltica. El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de agroinsumos sobre la producción de biomasa de *Paspalum atratum* cv. Cambá FCA. La siembra de la pastura se realizó en macetas conteniendo un suelo de textura arenosa. Se aplicaron 7 tratamientos con 5 repeticiones en un diseño completo al azar. Los tratamientos fueron: Testigo (T: suelo solo), Fertilizante (F: hidrocomplex 100 kg.ha⁻¹), Lombricompuesto (L: 40 t.ha⁻¹), Lombricompuesto +

basalto (L+B: 40 t ha⁻¹ + 2,5 t ha⁻¹ respectivamente), Compost (C: 40 t ha⁻¹), Compost + Basalto (C+B: 40 t ha⁻¹ + 2,5 t ha⁻¹ respectivamente) y Basalto (B: 2,5 t ha⁻¹). Se realizaron 3 cortes de la pastura a los 45, 63 y 84 días después de la siembra, determinando en cada caso la producción de materia seca aérea (MS), y en el último corte se extrajo la parte radical para obtención de su peso seco. Los datos fueron analizados mediante análisis de varianza y comparación de medias por Tukey ($p < 0.05$). Al momento del primer corte no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En el segundo corte el mayor valor lo obtuvo el tratamiento Lombricompost diferenciándose estadísticamente de los tratamientos Testigo, Fertilizante mineral y Basalto siendo este último el del menor valor. En la medición final el tratamiento lombricompost mantuvo diferencias con Fertilizante Mineral y Basalto; y el tratamiento L+B fue significativamente mayor al tratamiento B. Con respecto a la variable Peso seco radical, el mayor valor lo obtuvo el tratamiento Fertilizante Mineral con diferencias significativas frente al tratamiento Basalto, siendo este último el que menor valor arrojó. Del análisis realizado se concluye que el bioinsumo destacado fue el Lombricompost, sólo o en combinación con basalto, ya que puede incrementar la producción en la parte aérea y promover una mejor acumulación de materia seca post cortes o pastoreos de la pastura; la aplicación de basalto al suelo sin el agregado de otro bioinsumo resultó en valores muy similares al suelo testigo, sin embargo, al combinarlo con los tratamientos orgánicos la respuesta de las variables medidas se mostró favorable.

QUARTZO-MONZONITOS DA PEDREIRA EBAM EM PRESIDENTE FIGUEREDO/AM: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E IMPLICAÇÕES ECONÔMICAS

Paulo Roberto Rodrigues Benevides Filho¹, Alessandra Elisa Blaskowski¹

¹Serviço Geológico do Brasil - CPRM (paulo.benevides@cprm.gov.br, alessandra.blaskowski@cprm.gov.br).

A pedreira EBAM localiza-se em Presidente Figueredo, a 150km de distância de Manaus e lavra mensalmente cerca de 40.000 ton de rocha visando a produção de brita para a construção civil na região. O processo produtivo da brita zero (5 a 13 mm) e brita 1 (13 a 20 mm), seus principais produtos, resulta em uma geração de 45% de pó de brita (4 mm a argila) e bica corrida (30mm a argila) indesejáveis por suas características geotécnicas inferiores a de outros materiais disponíveis na região. Em abril de 2019 os estoques de bica corrida e pó de brita do empreendimento eram da ordem de 100.000 m³ e 125.000 m³ respectivamente. Pesquisas realizadas pelo projeto Agrominerais do Brasil, capitaneado pela CPRM, demonstraram através de análises geoquímicas e petrográficas o potencial de utilização desse material na remineralização de solos. O pó da rocha coletado na pedreira atende integralmente a IN MAPA 05/2016 apresentando 9,7% de seu peso em bases, 3,53% de K, 0,38% de P₂O₅. Entre os elementos potencialmente tóxicos os valores encontram-se muito abaixo dos limites impostos: 1 ppm de As, 0,14 ppm de Cd, 0,01 ppm de Hg, 20,1 ppm de Pb. Por fim há ainda, dentro dos

teores mínimos declaráveis, 5,25% de Fe e 0,11% de Mn. A frente de lavra foi estudada e é composta de 2 tipos principais de rochas descritos. O quartzo monzonito, compondo 90% da frente de lavra é cortado por diques de espessura métrica de diabásio que compõem os outros 5%, os 5% restantes corresponderiam a veios pegmatoides e outras variações litológicas. O mesmo apresenta-se localmente potassificado, em associação a zonas de cisalhamento, nessas porções adquire um tom avermelhado, o que representaria 35% de sua exposição na lavra. O quartzo monzonito original apresenta cerca de 30% de cristais de plagioclásio enquanto que o potassificado apenas 11%, ambos possuem 12~15% de quartzo e ~11% de máficos (Cpx, Opx, Anf, Bt e Cl) apresentam notável sericitização em vênulas, com epidoto e calcita associados. Além disso os cristais de feldspato apresentam substancial sericitização zonada o que deve indicar variação composicional nos mesmos, além de pertita, ambas características são benéficas ao processo intempérico. Na massa dos cristais de feldspato é possível notar a presença de inclusões pequenos cristais de apatita e epidoto. Por fim, em associação a tais características geológicas pode-se acrescentar que Presidente Figueredo constitui-se em um dos principais cinturões verdes em proximidade a cidade de Manaus onde existem centenas de propriedades rurais de pequeno e médio porte, que cultivam hortaliças de alto valor agregado em cultivos protegidos (pepino japonês e pimentões), além de cítricos (laranja, limão) e uma plantação de cana de 1500 ha tudo isso a poucos quilômetros da pedreira, que tem uma grande capacidade logística instalada. Tudo isso num dos climas mais agressivos aos minerais primários, que por consequência tem solos de baixíssima fertilidade, associado às piores condições logísticas do país, o que torna o uso de fertilização solúvel extremamente cara e ineficiente.

TRAQUITOS COMO FONTE DE POTÁSSIO PARA REMINERALIZADORES DE SOLO: EXEMPLO DO GRUPO COLÍDER, MATO GROSSO

Ronaldo Pierosan¹, Victória Hayane Silva Assis Muniz², Fernanda Silva Souza³

¹ Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso. ronaldo.pierosan@gmail.com

² Faculdade de Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso. rayanni11@hotmail.com.

³ Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Mato Grosso. fernandasantos.geo@gmail.com.

Dados da Agência Nacional de Mineração evidenciam a dependência do mercado brasileiro em importações de fontes de potássio para a agricultura. A produção nacional de rocha potássica é praticamente insignificante quando comparada ao seu consumo aparente, e tem se mantido estável nos últimos 25 anos. Por outro lado, o consumo aparente tem aumentado no mesmo período. Além disso, o preço da rocha potássica no mercado internacional vertiginosamente a partir de 2007, apesar de leve redução nos últimos anos. Este cenário indica uma necessidade por novas fontes de potássio em território brasileiro. O Estado de Mato Grosso se configura como um dos maiores produtores

de *commodities* agrícolas do Brasil e do mundo e, com isso, um dos mais expressivos mercados consumidores de fertilizante do país. No entanto, o estado não possui histórico de exploração mineral de fontes de potássio, especialmente pela ausência conhecida de ocorrências de rochas potássicas evaporíticas. Dessa forma, abre-se importante perspectiva para o setor mineral de remineralizadores de solo potássico. A efetividade da utilização de feldspatos potássicos como remineralizadores de solo é pouco conhecida, embora estudos desenvolvidos nos Estados Unidos e na China tem demonstrado um importante potencial. Os traquitos relacionados ao Grupo Colíder no norte do Estado de Mato Grosso possuem algumas características físico-químicas que permitem tecer considerações sobre seu potencial. Consistem de rochas porfíricas com matriz fanerítica muito fina, com ~20% modal de fenocristais de feldspato alcalino perítico, <5% modal de biotita e <3% modal de quartzo. Apesar das baixas taxas de solubilidade de feldspatos potássicos, microestruturas intracristalinas, como microfraturas e lamelas de exsolução (pertitas), e a expressiva presença de minerais mal formados, principalmente presentes na matriz, são feições físicas que favorecem a liberação de elementos químicos de interesse para remineralizadores de solo, especialmente o potássio. A composição química dos traquitos consiste de conteúdos de SiO₂ inferiores a 69% em peso, K₂O variando de 6,25 a 7,64% em peso e baixos conteúdos de CaO, MgO e P₂O₅. Dados de difração de raios-x indicam a presença de albita, microclinio, ortoclásio e quartzo. Remineralizadores de solo, bem como grande parte dos minerais industriais, possuem baixo valor agregado, implicando na necessidade de proximidade das áreas-fonte com o mercado consumidor. Dessa forma, as características até então averiguadas dos traquitos do Grupo Colíder aflorantes no norte de Mato Grosso abrem perspectivas para investigações futuras que possam vir a comprovar o potencial e a efetividade dessas rochas para utilização como remineralizadores de solo. Estudos futuros envolvendo ensaios laboratoriais de solubilização e de lixiviação poderão melhor elucidar o potencial de liberação de macro e micronutrientes. Além disso, ensaios de incubação e de desempenho agrônomo poderão atestar a eficácia destes traquitos como remineralizadores de solo.

ATRIBUTOS QUÍMICOS E MINERALÓGICOS DO LATOSSOLO VERMELHO EUTROFÉRRICO APÓS MAIS DE 30 ANOS DE PÓ DE BASALTO

Rodolfo Figueiredo¹; Ivan Granemann de Souza Junior², Antônio Carlos Saraiva da Costa³

¹Doutor em Agronomia. PPG em Agronomia. Universidade Estadual de Maringá rodolfo.agron@gmail.com.

²Doutor, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. ivangsjunior@gmail.com.

³Professor Associado III, Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia. acscosta@uem.br.

Os Latossolos Vermelhos eutroférricos-LVef derivados do basalto ocorrem em pequenas áreas no estado do Paraná (PR). Esses solos apresentam alta fertilidade natural, proporcionado pelos seus atributos químicos e mineralógicos. Este trabalho teve como objetivo avaliar as alterações nos

atributos químicos e mineralógicos do Horizonte A de dois Latossolos Vermelhos eutroféricos localizados no Município de Maringá-PR, sendo que um deles recebeu pó de basalto por mais de trinta anos e o outro não. Na Pedreira Extracom foi possível à amostragem do horizonte A_E em área de Mata ativa localizada dentro da pedreira. Outro horizonte A_U foi amostrado em uma trincheira na estação meteorológica da Universidade Estadual de Maringá (UEM). Os resultados analíticos permitiram concluir que os atributos químicos e mineralógicos foram afetados diretamente pelo processo de intemperismo (horizonte A_U) e rejuvenescimento (Horizonte A_E) do solo. O horizonte A_E do LVEf amostrado na Pedreira Extracom (A_E) apresentou maior teor de silte e areia que o Horizonte A do LVEf amostrado na UEM (A_U) devido a granulometria do pó de rocha depositado pelas explosões. O valor de área superficial específica total (ASET) do Horizonte A_E foi de $142 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$ enquanto o Horizonte A_U foi de $60 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$, sendo que a maior parte da ASET é associada a área superficial específica interna (ASEi) somente presente nos minerais de argila 2:1. Ambos Horizontes A apresentam elevada saturação por bases que definem o caráter epieutróficos com valor $V\%$ superior a 70%. No Horizonte A_E foi observado elevado teor de fósforo disponível, cerca de 500% maior do que o Horizonte A_U ; fósforo herdado do pó de rocha depositado. As maiores alterações mineralógicas foram observadas na fração argila do Horizonte A_E . A mineralogia da fração argila analisada por difração de Raios-X mostrou que o Horizonte A_E apresentou avançado estágio de rejuvenescimento com o desaparecimento completo da gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), a presença de caulinita com alto grau de desorganização estrutural que resultou em altas percentagens de sílica solúvel e na formação de nanopartículas de minerais de argila 2:1. Isto é, a adição contínua de pó de basalto favoreceu a seguinte sequência de dissolução→precipitação: $\text{gibbsita} + \text{H}_4\text{SiO}_4 \rightarrow \text{Caulinita} + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{H}_4\text{SiO}_4 \rightarrow \text{Minerais de argila 2:1}$. Outra forma de entender o rejuvenescimento do solo é considerar que originalmente estes solos apresentam grande quantidade de cargas variáveis positivas (gibbsita + óxidos de ferro) que se transformaram em cargas variáveis negativas (caulinita) e que no estágio atual está se dissolvendo para formar minerais que apresentam cargas permanentes como os minerais de argila 2:1.

FEIÇÕES DO INTEMPERISMO DE DIABÁSIO EM CORPOS DE PROVA ENTERRADOS NO SOLO.

Thairis Gomes dos Santos¹, Rafael Cipriano da Silva², Antônio Carlos de Azevedo³

Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz. thairis.rim@gmail.com ciprianors@usp.br aazevedo@usp.br

Vários aspectos estão associados ao uso dos pós de rocha, como fornecimento de nutrientes para as plantas, captura de gás carbônico atmosférico por intemperismo acelerado e formação de novas fases sólidas no solo. No entanto, a forma como esses processos ocorrem no solo precisam ser melhor compreendidas. Este estudo avaliou aspectos mineralógicos, morfológicos e composicionais de corpos de prova com pó de diabásio enterrados no solo. Amostras de pó

de rocha extraídas do diabásio do sill de Limeira – SP RM foram colocadas em vários sacos de poliéster quadrados com aproximadamente 15 cm de lado, com malha 400 mesh (corpos de prova) e enterradas em áreas de floresta e cultivadas com milho e capim-elefante, em Latossolo textura media, na Fazenda Figueira Branca em Pirassununga -SP (21 ° 58'52.32 "S; 47 ° 22'44.27" W). Os corpos de prova foram desenterrados após quatro períodos diferentes de contato com o solo, aos 59, 86, 119 e 154 dias, após foram realizadas análises por difratometria de raios-X (DRX) e microscopia eletrônica de varredura além da quantificação dos elementos químicos das amostras. A DRX apontou mudança na intensidade dos picos dos plagioclásios e piroxênios, sugerindo que estas foram as fases mais intemperizadas. A quantidade de Fe ditonito extraído foi de 9,5 a 13,3 vezes maior que a do pó de rocha original, e de 15,9 a 26,1 para Fe oxalato. Também foi possível identificar, através da microscopia eletrônica, feições de corrosão típicas dos estágios iniciais de intemperismo, bem como a presença de microrganismos, principalmente de hifas fúngicas.

CAPACIDAD MICORRIZICA ESPONTANEA EN *PASPALUM ATRATUM* CV CAMBA-FCA BAJO EL EFECTO DE AGROINSUMOS Y SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

Tomadin Facundo D.¹, Romero*, Amalia M.¹, Krynski, Mariel A.¹, Ortiz Nicolás.¹, Urbani Mario H.², Iglesias María C.¹

¹Cátedra de Microbiología Agrícola ²Cátedra de Forrajicultura. Facultad de Ciencias Agrarias-Universidad Nacional del Nordeste. Sargento Cabral 2131 Corrientes Capital CP3400. amaromero86@hotmail.com

Los hongos micorrícicos arbusculares juegan un rol importante en el suelo favoreciendo el crecimiento de los cultivos. El objetivo fue evaluar la influencia de algunos agroinsumos sobre la micorrización en *Paspalum atratum* cv. Cambá. Para ello se planteó un ensayo en macetas con siete tratamientos (T) y cinco repeticiones, en un modelo completamente aleatorizado: T1) testigo: suelo solo, T2) fertilizante mineral, T3) lombricompost 40 t ha⁻¹, T4) lombricompost + polvo de basalto, T5) compost 40 t ha⁻¹, T6) compost + polvo de basalto, T7) polvo de basalto 2.5 t ha⁻¹. A los 84 días se extrajeron las plantas para obtención de materia seca (MS) de la parte aérea; y se realizó la tinción de raíces para su observación al microscopio y determinar el porcentaje de micorrización total, discriminado en hifas, vesículas y arbusculos. Los datos se analizaron mediante ANAVA, con prueba de Fisher ($p \leq 0.05$) para la comprobación de medias. La producción de MS fue significativamente mayor en T3, T4 y T6 respecto a T2 y T7; el tratamiento T3 se diferenció además de T1 y T5. Las variables hifas y micorrización total mostraron a T1 con el mayor porcentaje, aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos. La micorrización general suele estar condicionada por los niveles de nutrientes, siendo favorecida en suelos más pobres. En cuanto al porcentaje de vesículas el T4 fue estadísticamente mayor al T5, sin diferenciarse de los demás tratamientos.

Teniendo en cuenta la proporción de arbusculos, el T3 fue el de mayor valor, coincidiendo con el tratamiento de mayor producción de MS, mientras que el T1 y T4 fueron los de menor proporción de arbusculos. Estas estructuras fúngicas son el lugar de intercambio de elementos entre el hongo y la planta, lo que podría indicar que la mayor producción de MS en T3 podría estar relacionada a su mayor proporción de arbusculos.

Este livro foi composto em Cambria
pela Editora Autografia.