

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC CENTRO
DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS– CAV PROGRAMA DE PÓS-
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO– PPGCS**

NELITO NHANCA NBALI

**USO DO BIOCOMPOSTO *BOKASHI* NA DISPONIBILIDADE DE
NUTRIENTES EM REMINERALIZADORES DE SOLO**

LAGES, SC

2022

NELITO NHANCA NBALI

**USO DO BIOCOPPOSTO *BOKASHI* NA DISPONIBILIZAÇÃO DE
NUTRIENTES DE REMINERALIZADORES DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ciências do solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Coorientador: Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida

LAGES, SC

2022

Ficha catalográfica

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UDESC,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

N'bali, Nelito
USO DO BIOCOMPOSTO BOKASHI NA
DISPONIBILIZAÇÃO DE NUTRIENTES DE
REMINERALIZADORES DE SOLO / Nelito N'bali. 2022.

73p.

Orientador: Álvaro Mafra
Coorientador: Jaime Almeida
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Lages,
2022.

1. Fertilidade alternativa. 2. Pó de rocha . 3. Bokashi. 4.
Olivina melilitito. 5. Lamprofiro. I. Mafra, Álvaro . II. Almeida,
Jaime. III. Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro
de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Ciência do Solo. IV. Título.

NELITO NHANCA NBALI

**USO DO BIOCOMPOSTO *BOKASHI* NA DISPONIBILIZAÇÃO DE
NUTRIENTES DE REMINERALIZADORES DE SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em ciências do solo, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra

Coorientador: Prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Professor Dr. Álvaro Luiz Mafra

Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: Dra. Jaqueline Dalla Rosa – avaliadora externa

UFSB, Ilhéus

Membro: Dr. Marcos Roberto Dobler Stroschein – avaliador externo

IFSC, Urupema

Lages, 26 de julho de 2022

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial e à Mãe Divina, que tudo sabem e tudo permeiam, gratidão pela oportunidade de expressar a Vontade na forma de manifestação física, e ao Sagrado Anjo Guardião por toda a proteção!

Aos familiares, que sempre estiveram ao lado, dando suporte para que toda essa obra fosse concretizada, pai Júlio, mãe Ana, tio Ilario, tia Maria, Nita, irmã Helena, Paulina, Nene, Binta, Fanta, Maimuna, Silvina, Sandra; irmão Nino, Quintino, Nôe, Serifo, Herickson, Jeremias, madrinha Milu, cunhada Mirela, Julieta; padrinho vá.

À Empresa Dinamisa, pelo fornecimento dos pós de rocha e à Dra. Genicelli Mafra Ribeiro pelo apoio na condução do trabalho.

À UDESC pela concessão de bolsa de monitoria de pós-graduação (PROMOP) e pelo ensino de qualidade.

Aos Mestres, que sempre estiveram assistindo aos passos, prof. Dr. Álvaro Luiz Mafra, profa. Dra. Sueli Mafra, prof. Dr. Jaime Antonio de Almeida, prof. Dr. Jackson Adriano Albuquerque, Profa. Dra. Mari Lucia Campos por sempreclarearem os propósitos com vossos ideais.

Aos inestimáveis amigos e amigas Carlos, Dionisio, Lamine, Aladje, Domingos, Nicolas, Bayonco, Bacar, Wilson, Alexendre, Naninquo, Edmilson, Noemio, Benjamim, Maiquel, Vicente, Joaquim, Silverio, Issa, Adalberto, Leandro, Delci, por sempre estarem radiando energias de amor e união!!

Aos excepcionais laboratoristas Énderson Padilha e Matheus Rodrigues por todo auxílio no trabalho químico, na organização das atividades e principalmente, pela amizade.

Aos colegas de Laboratório e Pós-graduação Genicelli, Gabriel, Gustavo, Ana, Tamires, Rosalha, Juliano, Gregory, Eduardo, Daniel, Bruno.

RESUMO

NHANCA, Nelito Nhanca Nbalí. **USO DO BIOCOMPOSTO BOKASHI NA DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES EM REMINERALIZADORES DE SOLO.** 2022.

73p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo – Área: Uso e Conservação do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2022.

Os pós de rochas silicáticas são apontados como fontes alternativas de nutrientes para aumentar a sustentabilidade do setor agrícola. Nessa perspectiva, o objetivo do estudo foi avaliar a biointervenção, com aplicação conjunta de pós de rocha e compostos orgânicos para acelerar a liberação de nutrientes no solo, e promover a produção e nutrição no cultivo de milho. O experimento foi conduzido em casa de vegetação em ensaio de incubação e posterior avaliação do potencial agronômico em cultivo. Os tratamentos incluem a biointervenção com bokashi, três pós de rocha e duas doses de pós de rocha (5 e 10 Mg ha⁻¹), como segue: T1. bokashi + olivina melilitito (5); T2. bokashi + olivina melilitito (10); T3. bokashi + lamprófiro (5); T4. bokashi + lamprófiro (10); T5. Bokashi + fonolito (5); T6. bokashi + fonolito (10); T7. olivina melilitito (5); T8. olivina melilitito (10); T9. lamprófiro (5); T10. lamprófiro (10); T11. fonolito (5); T12. fonolito (10); T13. bokashi (5); T14. bokashi (10); T15. NPK e T16. controle. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro repetições. A incubação foi feita em sacos com 3 kg de solo seco, com avaliação da liberação de nutrientes aos 90, 120, 150 e 180 dias. Foram avaliados o pH, os teores de cálcio, magnésio, potássio, sódio e alumínio extraídos em água, ácido cítrico 0,01 M, acetato de amônio neutro 1 M (NH_4OAc) e ácido nítrico 1 M em ebulição (HNO_3). Os tratamentos foram avaliados em cultivo do milho, em vasos com 3 kg de solo seco, e colheita das plantas aos 45 dias após a semeadura. Também foram avaliadas a produção de biomassa da raiz e parte aérea e a concentração de potássio no tecido após digestão nitrosulfúrica. O pó da rocha olivina melilitito em combinação com bokashi e isolado foi o mais eficiente na liberação do potássio (92,5%) com incremento de 655,1% em relação a NPK e controle, cálcio (0,98%) com incremento de 78,5% em detrimento NPK e controle (rever) e magnésio (1,20%) com incremento de 150% em comparação com NPK e controle, resultando em maior conteúdo de nutrientes no solo incubado. Já na parte aérea do milho, maior produção de matéria seca e acúmulo dos nutrientes no tecido das culturas avaliadas, a rocha lamprofiro em associação com bokashi 10T apresentou maior acúmulo com (15,2 %) com incremento de 200% em relação a NPK e controle. O pó da rocha fonolito, apesar de conter o maior conteúdo total de potássio, somente liberou quantidade notável neste nutriente em algumas amostras do solo incubado FB na dose 10 t ha⁻¹ 90, FB 10 t ha⁻¹ 120, FB 10 t ha⁻¹ 150 e FB 10 t ha⁻¹ 180 dias. A aplicação dos pós de rocha olivina melilitito, lamprofiro e fonolito em associação com o composto orgânico “bokashi” foi capaz de aumentar os valores de pH em água e a disponibilização dos nutrientes Ca, Mg e K no solo incubado, em todos os intervalos avaliados em comparação com NPK e controle.

Palavras-chave: Fertilizante Alternativo, Pó de rocha, Bokashi. Olivina Melilitito. Lamprófiro. Fonolito. Milho. Incubação.

ABSTRACT

NHANCA, Nelito Nhanca Nbalí. **USE OF BIOCOMPOST BOKASHI IN THE AVAILABILITY OF NUTRIENTS IN SOIL REMINERALIZERS**. 2022. 73 p. Dissertation (Master in Soil Science - Area: Soil Use and Conservation) - State University of Santa Catarina - Center for Agroveterinary Sciences, Lages, SC, 2022.

Silicate rock powders are identified as alternative sources of nutrients to increase the sustainability of the agricultural sector. In this perspective, the objective of the study was to evaluate the biointervention, with application of rock powders and organic compounds to accelerate the release of nutrients in the soil, and to promote the production and nutrition in corn cultivation. The experiment was carried out in a greenhouse in an incubation trial and subsequent evaluation of the agronomic potential of the crop. Treatments include biointervention with bokashi, three rock powders and two rates of rock powders (5 and 10 Mg ha⁻¹), as follows: T1. bokashi + olivine melilitite (5); T2. bokashi + melilitite olivine (10); T3. bokashi + lamprophyre (5); T4. bokashi + lamprophyre (10); T5. Bokashi + phonolite (5); T6. bokashi + phonolite (10); T7. melilitite olivine (5); T8. melilitite olivine (10); T9. lamprophyre (5); T10. lamprophyre (10); T11. phonolyte (5); T12. phonolyte (10); T13. bokashi (5); T14. bokashi (10); T15. NPK and T16. control. The experimental design was completely randomized, with four replications. Incubation was carried out in bags with 3 kg of dry soil, with evaluation of nutrient release at 90, 120, 150 and 180 days. The pH, calcium, magnesium, potassium, sodium and aluminum contents extracted in water, 0.01 M citric acid, 1 M neutral ammonium acetate and 1 M boiling nitric acid were evaluated. The treatments were evaluated in maize cultivation, in vases with 3 kg of dry soil, and plant harvest at 45 days after sowing. Root and shoot biomass production and tissue potassium concentration after nitrosulfuric digestion were also evaluated. The olivine melilitite rock powder in combination with bokashi and isolated was the most efficient in releasing potassium (92.5%) with an increment of 655.1% in relation to NPK and control, calcium (0.98%) with an increment of 78.5% in detriment of NPK and control and magnesium (1.20%) with an increment of 150% in compared to NPK and control, resulting in higher nutrient content in the incubated soil. In the aerial part of the corn, greater production of dry matter and accumulation of nutrients in the tissue of the evaluated cultures, the rock lamprofiro in association with bokashi 10T presented greater accumulation with (15.2%) with an increment of 200% in relation to NPK and control. The phonolite rock dust, despite having the highest total potassium content, only released a notable amount of this nutrient in some soil samples incubated at FB dose 10 t ha⁻¹ 90 days, FB 10 t ha⁻¹ 120 days, FB 10 t ha⁻¹ 150 days and FB 10 t ha⁻¹ 180 days. The application of olivine rock powders melilitite, lamprophyre and phonolite in association with bokashi was able to increase the pH values in water and the availability of nutrients Ca, Mg and K in the incubated soil, in all evaluated intervals compared to NPK and control.

Key words: Alternative Fertilizer, Rock Powder, Bokashi. Olivine Mellitite. Lamprophyre. Phonolite. Corn. Incubation.

Sumário

INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS.....	11
Objetivo geral.....	11
Objetivo específico.....	11
HIPÓTESES.....	11
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
Efetividade da rochagem na disponibilidade de nutrientes.....	15
Processos para otimizar as solubilizações e a eficácia dos Agrominerais.....	17
Resultados do uso de pó de rocha.....	20
Biofertilizante orgânico tipo bokashi.....	24
Aplicação de remineralizadores em associação com composto orgânico bokashi para liberação de nutrientes no cultivo de milho.....	25
MATERIAL E MÉTODOS.....	26
Caracterização das rochas estudadas.....	26
Analise granulometria das rochas.....	26
Elaboração das formulações do bokashi.....	27
Delineamento experimental.....	27
Análise do solo incubado.....	29
Avaliação do desenvolvimento das plantas de milho.....	29
Analise química das partes aérea de milho.....	30
Análise estatística.....	31
RESULTADO E DISCUSSÃO.....	31
pH dos solos incubados.....	32
Teores de cálcio nos solos incubados.....	38
Teores de magnésio nos solos incubados.....	41
Teores de potássio nos solos incubados.....	43

Teores sódio nos solos incubados.....	45
Massa seca da parte aérea e das raízes de milho.....	46
Teor de cálcio na parte aérea de milho.....	49
Teor de magnésio na parte aérea de milho.....	49
Teor de potássio na parte aérea de milho.....	49
Teor de potássio na raiz do milho.....	50
CONCLUSÃO.....	53
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	54
REFERÊNCIAS.....	55

INTRODUÇÃO

O funcionamento de um agroecossistema pode ser influenciado pelos organismos presentes e suas relações, além das interferências dos métodos de manejo e práticas agrícolas, que afetam atributos físicos, químicos e biológicos do solo (ALTIERI, 2018).

O Brasil é um dos principais produtores de alimentos no mundo, devido as suas características climáticas convenientes à produção. Porém, em função do material de origem e dos processos de formação, muitos solos brasileiros são muito intemperizados, ou seja, apresentam acidez elevada, toxidez por alumínio e baixa disponibilidade de nutrientes, precisando corretivos da acidez e fertilizantes para garantir maior produtividade dos cultivos. Com intuito de recuperar a capacidade produtiva destes solos, na agricultura convencional são utilizadas elevadas quantidades de fertilizantes solúveis, de modo consequente, existe dependência por insumos externos.

Dessa forma, o país é um grande consumidor de fertilizantes. De acordo com dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa), o Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes do mundo, o que representa 7,4% de todo fertilizante comercializado mundialmente, atrás apenas de China (29,2%), Índia (13,5%) e Estados Unidos (11,2%) (Theodoro et al., 2016). Relativamente ao seu consumo, os dados comprovam que em 2017, o Brasil consumiu 35 milhões de toneladas de fertilizantes, sendo que 26 milhões foram importados, ou seja, preocupantemente, 76 % da demanda brasileira foi atendida por importações (ANDA, 2018).

Relativamente à finalidade dos fertilizantes, a maior porcentagem é destinada a grãos, como trigo e arroz (CELLA; ROSSI, 2010). De acordo com Ribeiro (2009) e Saab & Paula (2008), o consumo de fertilizante ao ano de 2007 foi de aproximadamente 24 milhões de toneladas, destes, 33,9% foram requeridos pela cultura da soja e 19,3% por lavouras de milho. Durante o ano de 2020 a necessidade de utilização de fertilizantes por cultura não sofreu alteração em relação ao cenário de 2006 e 2007, sendo que para o referente ano (2020) as culturas que mais demandaram fertilizantes minerais foram soja (41,0%), milho (16,0%), cana-de-açúcar (12,0%), café (4,0%) e algodão (4,0%) (CONAB, 2020c).

Apesar de ser um grande demandante, a produção interna de insumos para produção de fertilizantes no Brasil é insuficiente para atender as demandas do consumo, sendo que aproximadamente 70,0% da matéria-prima utilizada na indústria de fertilizantes é importada, especialmente as fontes de nitrogênio e potássio (LIMA, 2007; BERALDO; FIGUEIREDO, 2016; PEREIRA et al., 2016; CONAB, 2020d).

De acordo com Cella & Rossi (2010), aponta que, o setor de fertilizantes potássicos é o mais crítico dependendo de 91,0% de importações para que a oferta seja satisfeita. Estes mesmos autores indicam que a dependência brasileira por importações de fertilizantes nitrogenados é superior ao estimado por Carrer et al. (2010) (75,0%): 82,0% dos insumos nitrogenados consumidos no Brasil são oriundos de outros países.

Em 2014 os números referentes às importações se mantiveram imobilizados e equivalentes aos anos passados, da quantidade de fertilizantes minerais utilizados pela agricultura brasileira 92,0% de potássio, 73,0% de nitrogênio e 46,0% de fósforo foram provenientes de países estrangeiros (CASTRO et al., 2020).

Em um contexto um pouco mais recente, no ano de 2018 o Brasil importou 24,96 milhões de toneladas, efetuando um incremento de 4,0% em relação ao ano de 2017 (23,96 milhões de toneladas) (SAE-PR, 2020). Já em 2019, a importação foi de aproximadamente 80,0% de matéria-prima para fertilizantes (CONAB, 2020c), enquanto para o ano de 2021 mais de 85,0% dos fertilizantes utilizados no Brasil foram adquiridos de outros países (CALIGARIS et al., 2022). De acordo com dados dos levantamentos realizados pela Conab (2022a), no ano de 2021 a importação de fertilizantes pela federação brasileira registrou um recorde histórico de 41,6 milhões de toneladas.

A alta dependência externa torna o país vulnerável às flutuações de câmbio e preços traz o risco de insuficiência de insumos básicos. Tendo em vista a importância estratégica dos fertilizantes para o país, é necessário reduzir a participação das importações no consumo nacional, elevando sua produção interna. Com isso, para melhor evitar a pauperização dos solos e a queda da produção das culturas, é imprescindível repor aos solos os nutrientes removidos, o que pode ocorrer pela adubação e/ou correção da acidez dos solos pela calagem (SILVA et al., 2012). Uma das técnicas para reposição a curto prazo, é

o uso intensivo de fertilizantes químicos, altamente solúveis, no entanto, esta técnica de uso, eleva os custos de produção em sistemas agrícolas e pode ocasionar impactos no meio ambiente (GLIESSMAN, 2005).

Os hábitos de utilização da matéria-prima nacional, as vezes são deixados de lado, pois culturalmente, só ocorrem a longo prazo. Um destes hábitos é o uso de pó de rochas aos solos, que é uma prática antiga de fertilização natural do solo, designada de rochagem ou remineralização (LUZ et al., 2010).

Diante de todos esses problemas, é necessário buscar alternativas para as fontes de nutrientes importadas e também encontrar opções que atendam às necessidades da agricultura de base agroecológica, que limita o uso de fertilizantes solúveis, além de estímulos ao uso de recursos locais e com menos passivos ambientais. Uma dessas alternativas que recentemente tem sido apontada é o uso de rochas moídas (rochagem) que apresentam potencial fertilizante, ou uso de rejeitos provenientes de pedreiras e mineradoras e aumento das correntes de agricultura de base agroecológica (CARVALHO, 2012).

Lembrando que, esta prática tem como principal limitação que seria a lenta liberação dos minerais presentes e dos nutrientes às plantas. Com isso alguns trabalhos tem sido desenvolvidos em ambientes controlados simplificados a ação de organismos do solo, de microrganismos proveniente de compostos orgânicos ou mesmo da planta sobre a magnitude da disponibilização de nutrientes pelas rochas.

Tendo em conta, a necessidade, ou seja, para a melhor sobrevivência das plantas, é indispensável o uso de fertilizantes na produção agrícola, tendo em conta as exigências nutricionais das plantas, mas, devido ao elevado custo desses insumos pode reduzir a quantidade utilizada na produção agrícola.

Estima-se que a eficiência média dos fertilizantes utilizados é de cerca de 50% ou menos para N, menos de 10% para P e perto de 40% para K, estas menores eficiências têm relação com as perdas significativas de nutrientes por lixiviação, escoamento superficial e emissão de gases de efeito estufa (BALIGAR, 2001). Essas perdas podem de alguma forma contribuir potencialmente na degradação do solo e na qualidade da água e, eventualmente, provocar degradação ambiental.

A procura por utilização eficiente de nutrientes a partir do uso de fertilizantes é uma preocupação dos pesquisadores, agricultores e formuladores de políticas a nível mundial. Neste sentido são importantes a diminuição da dependência de fertilizantes minerais e o incentivo ao uso de fontes naturais de nutrientes, como as rochas silicáticas para produção agrícola (COLA & SIMAO, 2012).

Novas técnicas para produção de alimentos, em grande quantidade e com qualidade têm sido buscadas, a fim de reduzir os danos ao ambiente. Fontes alternativas de nutrientes estão sendo utilizadas, priorizando-se, além do baixo preço, o menor impacto ambiental (MERRT et al., 2009). Busca-se diminuir o esgotamento dos recursos não renováveis como, por exemplo, as reservas mundiais de rochas fosfáticas, das quais são restritas.

A partir de década de 1980/90, o governo brasileiro vem incentivando pesquisas para o aproveitamento de rochas silicáticas na produção agrícola ou para utilização como fertilizante, com propósito de diminuir a escassez de fertilizantes e reduzir a dependência externa. Além disso, na produção orgânica, há restrição quanto ao uso dos fertilizantes solúveis, mas o uso de pó de rocha como fonte de nutrientes, envolvendo as rochas silicáticas, é permitido, (BRASIL, 2011). Estes materiais são denominados remineralizadores quando atendem exigências mínimas da legislação brasileira (BRASIL, 2013; 2016).

Remineralizadores (RM) são entendidos como materiais de origem mineral que sofreram apenas redução de tamanho por processos mecânicos e que alterem a fertilidade do solo por meio de adição de nutrientes para as plantas, bem como melhorem propriedades físicas ou físico-químicas ou a atividade biológica do solo. Como consta na Lei Federal 12.890, publicada no Diário Oficial da União de 11 de dezembro de 2013, que institui os RM como uma nova classe de insumo agrícola (BRASIL, 2013, 2016).

Assim, a remineralização dos solos pode desempenhar funções como corrigir a acidez do solo, adicionar nutrientes para as plantas e condicionar o solo (LUZ et al., 2010). Independentemente da exigência de legislação em algumas condições para classificação de pós de rochas como remineralizadores (BRASIL, 2013, 2016), não existem muitos estudos sobre qual a quantidade mínima de nutrientes que devem ser liberados em determinado tempo e sua correlação com a produção vegetal, para validar o emprego do pó de rochas

como um fertilizante adequado ao uso. Supostamente, esses produtos, depois de serem aplicados ao solo, podem liberar nutrientes de forma gradual, para manter a fertilidade e a produtividade por um período de longo prazo em comparação aos fertilizantes solúveis, sendo assim, é necessário conhecer sua velocidade de solubilização e consequentemente o potencial de liberação de nutrientes para o solo e as plantas.

A rochagem pode se tornar uma importante técnica de fertilização do solo e complementar as práticas tradicionalmente utilizadas no Brasil. É indicada, a princípio em escala regional, destacando-se pela diversidade de matérias-primas com potencial para uso como fonte de nutrientes para o solo e plantas, e ampla distribuição geográfica (MERRT et al., 2009).

A utilização de rochas moídas como fonte alternativa de nutrientes para o solo e plantas é considerada uma prática agrícola tradicional. As rochas calcárias são as mais habitualmente usadas como corretivo da acidez e para o fornecimento de cálcio e magnésio aos solos e as rochas fosfatadas (apatitas) podem ser utilizadas como fonte de P aos solos. Além disso, outras rochas, como por exemplo: materiais derivados de rochas vulcânicas básicas e ultrapotássicas, que compreende quantidades significativas de cálcio, magnésio, fósforo, potássio e vermiculita, além de baixos conteúdos de sílica, já foram usadas tradicionalmente por agricultores como fontes de nutrientes (van STRAATEN, 2006).

A aplicação de pós de rocha apresenta potencial de fornecer nutrientes para sistemas de produção agrícola, tanto macronutrientes como micronutrientes. Apesar de apresentar liberação mais lenta dos elementos ao solo em relação aos fertilizantes solúveis, o pó de rocha pode contribuir com o efeito residual por longo prazo, e ainda é capaz de auxiliar na correção da acidez e condicionamento do solo (SOUZA et al., 2017).

Apesar das rochas silicatadas adicionarem a maioria dos nutrientes essencial ao desenvolvimento vegetal, não há concordância na literatura quanto a sua aptidão em fornecer nutrientes e viabilizar o crescimento das plantas, principalmente devido a lenta solubilização dos minerais presentes nas rochas (HARLEY & GILKES, 2000).

De acordo com Hinsinger et al. (2001) os resultados insatisfatórios para utilização de rochas silicatadas estão frequentemente associados a

experimentos de curta duração, solos ou substratos estéreis ou com baixa atividade microbiana, clima temperado ou muito frio, quantidade muito pequena de material ou com granulometria muito grosseira. A solubilização de minerais é um processo diretamente relacionado à atividade biológica, que pode ser estimulada por práticas culturais que estimulem a microbiota do solo. Nesta ótica, alguns trabalhos têm testado tecnologias envolvendo processos biológicos para aumentar a velocidade de liberação de nutrientes de pós de rocha, tais como biofertilizantes, compostagem e verme-compostagem (LOPES-ASSAD et al., 2010; LIMA et al., 2010; LIMA, 2009; SOUZA, 2010).

No território brasileiro há ampla disponibilidade de agrominerais, especialmente de agrominerais silicáticos (CPRM, 2020). A ciência de interface conhecida como agrogeologia realça a função ampla dos remineralizadores de solo como i) condicionador e corretivo do solo: aumento do pH do solo, diminuição do Al trocável, aumento da eficiência do uso de nutrientes e capacidade de retenção de água, estimulador da atividade biológica do solo e crescimento de raízes das plantas cultivadas; ii) fertilizante: amplo espectro de minerais, macro, micronutrientes e elementos traço, disponibilizando K, Ca, Mg, Si, Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Se, Mo, entre outros (CAMPE, 2010.); iii) formação de novas fases minerais: aumento da CTC do solo pela formação de argilominerais 2:1 e minerais de baixa cristalinidade, e geração de camada de solo estável no longo prazo (VAN STRAATEN, 2007; MARTINS, 2008; THEODORO; LEONARDOS, 2014).

Nesse sentido as modificações biológicas podem ser uma alternativa para disponibilizar nutrientes às plantas (HARLEY; GILKES, 2000; MOHAMMED et al., 2014). De acordo com relatos feitos nos estudos de vários autores, demonstraram claramente de que, essas rochas, moídas, liberam de forma lenta vários nutrientes compreendidos nos minerais que compõe estas rochas (VAN STRAATEN, 2006). Devido a estas características da liberação lenta, é necessário pensar na velocidade da liberação destes nutrientes para melhor atender a demanda nutricional do solo no curto, médio e longo prazo, para que isso aconteça, é necessário utilizar o mecanismo de aceleração através de vários processos de modificação química, física e biológica. Para que ocorram essas funções, as minhocas são utilizadas para digerir a matéria orgânica, estimulando assim a atividade dos microrganismos e consequentemente a mineralização dos

nutrientes, acelerando a transformação do resíduo em material humificado (DOMÍNGUEZ et al., 2010). Sendo que, a material humificado são as frações da matéria orgânica com alto grau de estabilização (GARG et al., 2006).

Levando em consideração, a importância da participação dos microrganismos no processo de desestruturação das rochas, ajudando de uma certa forma, mais rápido e simples a liberação dos nutrientes contidos nessas rochas, para que isso aconteça, é necessário viabilizar um estudo, em que as rochas irão ser associadas com compostos orgânicos, com intuito de acelerar a liberação num período de curto prazo para melhor atender as demandas nutricional das plantas com ciclos curtos.

A aplicação de rochas in natura associada ao composto orgânico bokashi pode caracterizar uma alternativa para compor a demanda de nutrientes para as plantas, uma vez que, esse processo pode acelerar a solubilização dos nutrientes que, naturalmente, não são facilmente disponíveis para as plantas, pois ocorrem na estrutura dos minerais. De acordo com Souza et al. (2015), o processo de bokashi tem a aptidão de amplificar o intemperismo dos minerais e aumentar a disponibilidade destes nutrientes representando uma alternativa para compor a demanda de nutrientes para as plantas. Vários pós de rocha têm sido distribuídos e empregados aos solos com o efeito de condicionador dos mesmos, como por exemplo, MB4, uma mistura de duas rochas: biotaxisto e serpentinito, na proporção de 1:1. Este produto é oriundo da moagem de rochas silicatadas e possui em sua composição cerca de 50% de sílica.

Destaca-se o conceito de biossolubilização ou biointervenção de minerais silicatados (BISWAS; BASAK, 2013, 2014), o qual acelera a taxa de liberação de nutrientes, por processos de transformação biológica como a compostagem e/ou inoculação de microrganismos eficientes (KHATOUNIAN, 2001; HOYOS, 2009). Estudos sobre microbiologia em sistemas orgânicos apontam a possibilidade destes organismos como agentes modificadores nos agroecossistemas (BARETTA et al., 2005).

Não obstante, sabe-se que a matéria orgânica do solo se encarrega de um papel fundamental na qualidade e produtividade do solo, agindo como fonte de energia, impulsionando a diversidade biológica e melhorando a composição dos ecossistemas terrestres (MARTINS et al., 2015).

O manejo e as práticas do solo devem assegurar manutenção ou melhoria das suas características biológicas, químicas e físicas, viabilizando consequentemente uma produção sustentável e devidamente das culturas (LOPES et al., 2015). Uma das possibilidades para se atingir esses planos é a produção e a utilização dos compostos orgânicos. O composto é derivado do manejo humano de resíduos agrícolas na propriedade considerando ganho de tempo e espaço por meio do trabalho e de construção do saber (PINHEIRO, 2011).

A compostagem é um processo que se dispõe acelerar e encaminhar um procedimento de decomposição de materiais orgânicos, que sucede despretensioso na natureza. Em sua fase inicial, ocorre a ampliação das colônias de micro-organismos mesófilos e a intensificação da decomposição, da liberação de calor e da elevação rápida da temperatura. Seguidamente, na fase termófila, caracterizada por temperaturas acima de 45 °C, ocorre uma decomposição exorbitante do material, com formação de água metabólica e manutenção de geração de calor e vapor d'água.

Posteriormente, na fase mesófila ocorre a degradação de substâncias orgânicas mais resistentes, redução da atividade microbiana e, subsequentemente, diminuição da temperatura da leira e perda de umidade. finalmente, a sazonamento, a atividade biológica é baixa e ocorre a formação de substâncias húmicas (INÁCIO; MILLER, 2009). Em vista disso, os sólidos biodegradáveis da matéria orgânica são modificados para um ponto estável que pode ser empunhado, aprovisionado e utilizado como fertilizante orgânico sem efeitos desfavoráveis o ambiente, desde que utilizado de forma racional (ORRICO; LUCAS-JÚNIOR; ORRICO-JÚNIOR, 2007).

É importante ressaltar que, o mecanismo de introduzir pós de rochas na compostagem enriquece o teor de nutrientes do produto e acelera a solubilização dos minerais das rochas, fatos que amplia a aptidão agronômica do adubo (ISHIMURA et al., 2006). Na maior parte dos casos, as rochas silicáticas moídas são misturadas a compostos orgânicos e a liberação dos nutrientes pode ser acelerada por meio de mecanismos físicos e biológicos controlados (ROCHA, 2006; THEODORO et al., 2012). Introduzir o remineralizador na técnica de compostagem é uma forma de beneficiamento biológico do produto. Os micro-

organismos presentes no composto aceleram, por meio dos ácidos húmicos, a quebra dos compostos químicos presentes, especialmente nos argilominerais, liberando, dessa forma, uma maior porcentagem de nutrientes para as plantas. Assim, fertilizantes de proveniência geológica local podem ser usados em conjunto com medidas biológicas (CHESWORTH; VAN STRAATEN; SEMOKA, 1989; PINHEIRO, 2018; TAVARES, 2017).

A técnica de compostagem tem a sua eficiência diretamente ligada a fatores que possibilitam condições ótimas para que os micro-organismos aeróbios possam se multiplicar e agir na modificação da matéria orgânica. O conjunto de fatores condicionantes para o bom desenvolvimento de um sistema biologicamente complexo como a compostagem deve ser delineado por uma série de parâmetros, sendo eles uma combinação ótima de umidade, aeração, temperatura, relação C:N, pH e altura da leira (VALENTE et al., 2009).

Além do aperfeiçoamento da utilização dos recursos acessíveis inerente no sistema agrícola possibilitar a atenuação da dependência da agricultura de energia externa. Nos trópicos, a maior concentração de nutrientes refreados no complexo solo-planta está na biomassa e não no solo, que na maioria dos casos é ácido e distrófico, devido à elevada lixiviação de nutrientes carreados pelos excedentes hídricos de chuvas torrenciais (COSTA, 2017). Porém, a contribuição de macro e micronutrientes deve ser feita através de produtos de baixa concentração e solubilidade (PRIMAVESI, 1980). Sendo assim, nos trópicos, um solo saudável é aquele com elevada diversidade biológica, uma vez que ele é pobre quimicamente e dependente da rápida e elevada ciclagem da matéria orgânica (PRIMAVESI, 2016). E, considerando a possibilidade de fácil acesso e de simples logística, que possa permitir a utilização destes recursos.

Apesar de tudo, ou seja, levando em consideração a capacidade de se mobilizar recursos locais e regionais, apropriado para condições tropicais e para solos com baixa capacidade de retenção de cátions, 77% do total dos fertilizantes consumidos no país são derivados de fontes convencionais de nutrientes importadas, compostas essencialmente de variantes de NPK (FARIAS et al., 2020), de elevada concentração e alta solubilidade (RODRIGUES, 2009). Sendo assim, reparar-se que o padrão de agricultura industrial é dependente dos combustíveis fósseis (ALTIERI et al., 2015). e exibe com clareza o caráter do

processo que se realiza no sistema econômico moderno: um processo linear, do tipo extrai-produz-descarta (CAVALCANTI, 2012).

Não obstante, a técnica da compostagem representa a ideia de se entender a agricultura de forma intermitente, olhando a economia humana como parte do todo maior que é a natureza (CAVALCANTI, 2010; SANTOS, 2020).

Porém, neste estudo, os pós de rochas foram associados com composto orgânico do tipo “bokashi” para auxiliar na liberação dos nutrientes num período de curto prazo, tendo em conta a sua característica de liberação lenta dos nutrientes as plantas como havia comentado em alguns parágrafos acima, sendo que, os microrganismos são capazes de produzir ácidos orgânicos, inorgânicos e CO₂, que afetam o ambiente químico dos minerais, acelerando sua alteração (BRANDÃO, 2012). Esta técnica é uma das alternativas viáveis, de alguma forma possa garantir o reconhecimento de uso de pós de rochas em associação com compostos orgânico num período de curto prazo, baseando em todos os processos que lhe permitirá a rápida liberação as plantas, e também ao seu enquadramento nos critérios de avaliação dos remineralizadores.

De acordo com atual legislação dos remineralizadores, um dos seus requisitos para examinar sua qualidade refere-se ao conteúdo mínimo total de CaO+MgO+K₂O, que deve ser igual ou superior a 9% (BRASIL, 2013).

A qualidade dos remineralizadores pode ser avaliada em ensaios de eficiência agronômica em casa de vegetação ou no campo, que quantificam o potencial de liberação de nutrientes e sua relação com a resposta das plantas cultivadas.

No caso deste trabalho, foi conduzido um estudo de incubação dos solos para verificar o potencial de solubilização e um ensaio de cultivo nos vasos em (casa de vegetação), com o mesmo intuito de testar a eficácia de liberação dos nutrientes das rochas silicáticas nas plantas do milho de forma isolada e em associação com composto orgânico bokashi.

OBJETIVOS

Objetivo Geral

Avaliar o potencial da aplicação isolada e conjunta dos pós de rocha com biocomposto, sobre a liberação dos nutrientes no solo e no desenvolvimento de plantas de milho.

Objetivos Específicos

- Quantificar o potencial de liberação de macronutrientes em diferentes tempos, dos pós de rocha e biocomposto em experimento de incubação do solo arenoso;
- Avaliar o potencial agronômico de diferentes doses dos pós de rocha e biocomposto no desenvolvimento das plantas de milho.

HIPÓTESES

- A associação do biocomposto bokashi com remineralizadores do solo aumenta a taxa de liberação dos nutrientes contidos nos mesmos, pela bioassolubilização;
- A combinação das técnicas da adubação com pó de rocha e biocomposto serve como alternativa para substituir parte das fontes convencionais de nutrientes, no cultivo do milho.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A população mundial deve passar de 6,0 bilhões em 1999 para 8,5 bilhões de habitantes em 2025. Com este crescimento populacional tornará mais forte a pressão sobre os recursos naturais terra, água e ar para produzir alimentos. Faz necessário o acréscimo da produção de alimentos, que pode ser conseguido pela ampliação da área de terra cultivada e especialmente pelo ganho por unidade de área por meio da agricultura intensiva (BALIGAR, 2001).

Por esse motivo, é importante o uso eficiente de fertilizantes, agregando à implementação de novas fontes e tecnologias em nutrição de plantas agrícolas, para aumentar a produtividade (UNITED NATIONS, 2019).

De acordo com dados de (FAO 1992, 1993), a nível mundial, 1,44 bilhão de hectares da terra são cultiváveis. A maioria desses solos é deficiente em um ou mais nutrientes essenciais para suportar o desenvolvimento conveniente e produtivo das plantas (BALIGAR, 2001).

Além disso, cita-se a variabilidade dos preços dos fertilizantes. Tudo isso incentiva a busca de alternativas para o setor agrícola crescer. Assim, pesquisas de novos fertilizantes que atendam à peculiaridade alimentar e à responsabilidade socioeconômica e ambiental são demandas em todo território nacional (LAPIDO-LOUREIRO; RIBEIRO, 2009).

Na busca de solução para diminuir a extrema dependência do Brasil por fertilizantes externos, o pó de rocha (rochagem) pode ser uma das alternativas para disponibilizar nutrientes para as plantas. A rochagem é baseada na adição de pó de determinados tipos de rocha ou minerais para aumentar a fertilidade dos solos sem afetar o equilíbrio do ambiente. Esta técnica é tida como um processo alternativo ou adicional de fertilização e tem sido indicada principalmente para as pequenas propriedades, agricultura familiar e, até mesmo, para agricultura orgânica, de acordo Lapido-Loureiro e Nascimento (2009).

De acordo com Ramos et al. Hower, Blanco, Oliveira e Theodoro (2022) o uso do pó de rocha é considerada uma prática viável pois, não há contaminação ou poluição dos recursos naturais, solo, água e ar. acrescentado a isso, estudos confirmam que a utilização do pó de rocha está compreendida em processos de sequestro de carbono atmosférico. A utilização do pó de rocha

nos cultivos é naturalmente optada pelos agricultores tendo em conta à infinidade de uso pelo efeito benéfico que oferece na produtividade das culturas e pelos baixos custos, e devido à grande ociosidade de rochas e seus subprodutos, que são adequadas para este fim, que são os basaltos, xistos, micaxisto fonólitos, melilititos, sienitos, carbonatitos, serpentinitos, xistos, filitos, margas, granitos, gnaisses e kamafugito. Em geral, as rochas silicáticas são fontes naturais de fósforo, potássio, cálcio e magnésio, além de uma série de micronutrientes essenciais para a nutrição das plantas (RAMOS et al., 2020).

O estudo de rochas como fertilizantes é antigo e vanguardistas desta concepção de remineralização do solo são o francês M. Missoux (1853) e o alemão Julius Hensel (1880), ao divulgarem seus trabalhos sobre a utilização de rocha como fonte de nutrientes. Hensel na sua publicação de um livro em 1880, intitulado “Bread of stones”, que significa pão proveniente das rochas. (LAPIDO-LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009; STRAATEN, 2006). Esta linha de pesquisa desenvolveu desde então, com os esforços de vários pesquisadores, como Keller, Fyfe, Leonardos, Chesworth, Straaten, Pride, Gillman, Barak, Weerasuria, Coroneos, Hinsinger, Harley, Gilkes e seus colaboradores (FYFE; LEONARDOS; THEODORO, 2006; LAPIDO LOUREIRO; NASCIMENTO, 2009; STRAATEN, 2006).

Já no Brasil, os estudos com pós de rocha iniciaram na década de 1950, por meio de D. Guimarães e Vladimir Ilchenko, seguidos pelo professor Othon Leonardos (UnB), considerado precursor da rochagem no país. As pesquisas se intensificaram entre as décadas de 1970 e 1980, buscando rochas para o abastecimento de K e outros nutrientes às plantas e também rotas das possibilidades para a aquisição de fertilizantes (COELHO, 2005; CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM, 2010; RESENDE et al., 2006). Devido à escassez de P e K nos solos brasileiros, de modo geral, os estudos com rochas foram apontados, preferencialmente, para estes dois nutrientes, não desvalorizando a importância dos demais no sistema solo-planta.

A partir das décadas de 1980 e 1990 o governo brasileiro incentivou pesquisas para o aproveitamento de rochas silicáticas na produção ou para utilização como fertilizante, com intuito de diminuir a escassez de fertilizante e de libertar o país da extrema dependência externa. Além disso, na produção orgânica há restrição ao uso dos fertilizantes solúveis, mas se permite o uso de

pó de rocha como fonte de nutrientes, envolvendo as rochas silicáticas (BRASIL, 2011).

A pesquisa nesta área despertou interesse em vários campos e levou à criação em 2003 de uma rede interinstitucional de pesquisa, denominada e Rede Agri-Rocha, coordenada pela Embrapa. Tem como propósito organizar e desenvolver atividades de avaliação e experimentação com rochas de várias regiões geográficas do país, buscando aumentar as possibilidades de uso e a viabilidade econômica desses materiais como fontes de K, principalmente (RESENDE et al., 2006).

Uma outra demonstração da relevância de pesquisa, ou seja, de ampliar estudos sobre a rochagem no Brasil, foi o primeiro Congresso Brasileiro de Rochagem, realizado em 2009, com apresentação de mais de sessenta trabalhos científicos e participação de representantes de diversas áreas de interesse (BRASIL, 2011). E também, demonstrando a importância de ampliar as pesquisas, diferentes estudos no campo, na casa de vegetação sobre as técnicas de uso destas rochas e a sua viabilidade para pequenos e grandes agricultores, como foram relatados em diversos estudos.

De acordo com Theodoro, Leonards & Almeida (2010) a moagem é a fase inicial para facilitar a disponibilização dos nutrientes, a diminuição do tamanho das partículas justifica o aumento da superfície de ação dos agentes intempéricos (físicos, químicos e biológicos), aumentando a solubilidade mineral.

Nesse sentido, o uso de pós de rocha em combinação com práticas conservacionistas, pode ser uma estratégia de garantir a produção de alimentos, o que pode contribuir com ganhos ambientais, sociais e econômicos (EMBRAPA, 2018; THEODORO et al., 2006). O uso de remineralizadores de solo, na forma de pós de rocha é uma técnica antiga, e surge como mais alternativa, que deve ser fundamentada em estudos técnicos, de viabilidade econômica e ambiental, para aumentar sua viabilidade (LAPIDO-LOUREIRO et al., 2008).

A rochagem, ou remineralização de solos, está conceitualmente fundamentada no que Van Straaten (2002) refere como agroecologia, ou estudos dos processos geológicos na formação dos solos, na manutenção dos agroecossistemas, e na utilização de rochas no manejo da fertilidade dos solos e como fontes de nutrientes para as plantas.

A restrição da efetividade dos fertilizantes solúveis nas circunstâncias nos solos tropicais, são provenientes da legislação e dos elevados preços das matérias-primas no mercado internacional, tem incentivado a produção de novos produtos pela indústria. Para tanto, estudos e pesquisas têm sido realizados com finalidade de encontrar fertilizantes eficientes de baixo custo com características de liberação de macro e micronutriente, que possam ser utilizados na reposição de nutrientes nos solos degradados e na nutrição de planta. As rochas silicáticas foram selecionadas justamente como uma das alternativas para desempenhar essa função.

Esses fertilizantes podem ser apropriados para solos tropicais, por possuírem características de liberação de nutrientes de maneira lenta e com maior segurança, com alta capacidade de oferecer nutrientes ao longo de cada fase dos cultivos, com menor lixiviação, além disso, o aproveitamento de fontes locais pode reduzir os custos de produção, que estariam relacionados basicamente com sua moagem (SOUZA et al., 2017).

Dentre os vários materiais utilizados e pesquisados destacam-se rochas silicáticas ou agrominerais silicáticos. Os minerais do pó de rocha precisam passar pelo processo de intemperismo para liberar nutrientes, o que varia em função da composição química e mineralógica da rocha, granulometria, tempo de reação e condições de solo, como, por exemplo, pH e atividade de componentes biológicos Van Straaten, (2002). A efetividade do pó de rocha como fonte de nutrientes pode ser inicialmente menor por apresentar característica de baixa solubilidade (BOLLAND & BAKER, 2000). No entanto vários estudos realizados apontam a importância de aplicação de rochas moídas como fonte de nutrientes para o solo. Silva et al., (2012). Assim, a utilização dessas rochas apresenta potencial de fornecer vários nutrientes para agricultura.

Efetividade da rochagem na disponibilização de nutrientes

A efetividade dos pós de rocha como fonte de nutrientes para as culturas depende de características mineralógicas, químicas, granulométricas, solubilidade de material de origem, e tratamentos antecedentes, bem como de fatores associados a características e propriedade do solo como pH, textura, conteúdo de matéria orgânica, presença de microrganismos, umidade, tempo de incubação no solo, e características das espécies cultivadas, dentre outros

fatores ambientais e de manejo (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; RESENDE et al., PADUA, 2012; GUELF-SILVA et al., 2014).

Análises como difratometria de raios-x, florescência e petrografia possibilitam semi-quantificação de minerais e seus elementos presentes nas rochas, o que pode ajudar na seleção de materiais como fontes de nutrientes. Isso foi relatado pelos autores (Harley & Gilkes, 2000; Martins et al., 2008) que apontam a composição elementar e geoquímicas das rochas como formas de fundamentar as respostas alcançadas nos testes de avaliações agronômicas. Straaten (2007), Martins et al., (2008) e Lapiro- Loureiro & Melamed (2009) destacam a relevância de estudos sistemáticos para identificar fontes de agrominerais, com caracterização geoquímica, avaliação agronômica e econômica de rocha com capacidade de liberar macro e micronutriente para fertilizar o solo. A mineralogia pode ser aproveitada como indicadora do potencial de solubilidade dos minerais e da capacidade de liberação dos nutrientes. É notório que cada mineral apresenta diferenças quanto à susceptibilidade e resistência ao intemperismo (NASCIMENTO; LAPIDO-LOUREIRO, 2004; MANNING, 2010).

O intemperismo pode ser entendido como sendo o conjunto de processos físicos, químicos e biológicos que causam a desintegração e a decomposição das rochas e de seus minerais constituintes, resultando na formação de um saprolito ou mesmo de um solo. Na maior parte dos casos a taxa de intemperismo é condicionada pelo arranjo estrutural de mineral, pelo tamanho das partículas e condições ambientais e biológicas. O tempo da exposição do material de origem aos agentes do intemperismo como clima, relevo e organismos biológicos determina a taxa de sua transformação (MELO et al., 2009). A série de estabilidade dos minerais de Goldich (GOLDICH, 1938) é um dos instrumentos para prever a capacidade de dissolução/solubilização dos minerais. Entre os fatores que podem afetar a dissolução mineral e a velocidade de intemperismo, estão a concentração da solução extratora (WHITE, 2008; FONTES, 2012), pH e força iônica da solução, concentrações de elementos individuais, temperatura, umidade e área superficial reativa (LASAGA et al., 1994; OELKERS et al., 2008).

Uma das limitações para utilização de pó de rocha é o custo do frete, além da possibilidade das rochas conterem algum contaminante. Por essa razão, se

recomenda utilizar materiais que possuam jazidas/ afloramentos próximos das áreas de cultivo.

É necessário prever a disponibilidade de nutrientes a partir dos pós de rocha, em quantidade e no tempo adequados a cada cultura, em função da baixa solubilidade da maioria desses materiais, o que pode ser o principal fator limitante no seu uso (ZHOU & HUANG 2007; e BALLAND et al., 2010).

Entretanto outros autores, enfatizam que essa aparente desvantagem, na realidade é uma vantagem tecnológica da rochagem, pois as plantas absorvem gradativamente os nutrientes durante o seu desenvolvimento, e o que não foi usado continua no solo e pode ser influenciado por microrganismos, ácidos orgânicos, enzimas e processos rizosfericos (ALMEIDA 2000; LEONARDOS et al., 2000; STRAATEN, 2007). Ainda a baixa solubilidade das rochas é uma alternativa para ambientes com salinidade, pois, ajuda na diminuição dos problemas com adubação, e em locais de alta precipitação, evita que os nutrientes sejam rapidamente lixiviados. Sendo assim, facilita tais interações, o sistema é enriquecido em quantidade, qualidade e diversidade dos nutrientes, os quais poderão ser usados pelas plantas em safras posteriores.

Processos para otimizar a solubilização e a eficácia dos agrominerais

A utilização de pós de rocha in natura ao solo pode ser uma alternativa à aplicação de fertilizantes minerais solúveis. No em tanto, os estudos que preconizam a melhoria da fertilidade de solos intemperizados baseiam-se nas técnicas de associação de pó de rocha com compostos orgânicos, para acelerar a liberação de nutrientes contidos nos minerais, por processos que aumentem a solubilidade e a eficácia das rochas na liberação de nutrientes (LEONARDO et al., 2000; LOPES-ASSAD et al., 2010; SILVA et al., 2012).

As rochas precisam de alterações físicas, químicas ou biológicas, para acelerar a liberação. O intemperismo físico equivale a desintegração ou desestruturação das rochas e minerais, sem haver mudanças na composição químicas. Entre processos naturais envolvidos destacam-se os alívios de pressão, efeitos térmicos da radiação solar e ação mecânica da água, em ciclos contínuos de expansão e contração, baseados nos coeficientes de dilatação térmica de cada mineral; efeitos mecânicos de raízes; abrasão pelo vento e água líquida e a cristalização de sais e óxidos em poros ou fendas das rochas. Como

ação humana, tem-se a moagem, que amplia a área superficial específica (ASE), e apressa o intemperismo químico pela dissolução dos minerais a partir das superfícies rompidas (LUCHESE et al., 2002; BAERE; FRANÇOIS; MAYER, 2015).

O intemperismo químico pode ser entendido como sendo o conjunto de processos que provocam a decomposição/dissolução das rochas e de seus minerais constituintes, originando novos minerais, em que água, oxigênio, ácidos orgânicos e inorgânicos são os agentes dessa mudança. Entre os processos envolvidos destaca-se a dissolução, o qual tem maior efeito quando os minerais se encontram na forma de sais solúveis em água (halita, gesso agrícola etc.), e acidificação da água, que ocorre quando gás carbônico é dissolvido em meio aquoso (BRAY et al., 2015).

A hidrolise é um dos processos de dissolução química de minerais, e é influenciada pelo pH do meio, disponibilidade e renovação da água, temperatura e fluxo lixiviante (KUWAHARA., 2008; BRAY et al 2015).

Até então, os procedimentos de oxidação, redução e hidratação completam os sistemas de intemperismo químico especificamente, há estudos que indicam resultados adequados para solubilização de rochas silicatadas, quando são submetidas a tratamentos antecedentes, como exposição térmica e acidificação, tendo como exemplo a produção de termo fertilizantes (RESENDE et al., 2006; STRAATEN, 2006).

É obviou que, o índice de dissolução dos minerais no solo é conduzido pela instabilidade entre a solução do solo e a superfície dos minerais expostos, por meio da remoção de íons por processos como absorção de nutrientes pelas plantas e lixiviação. Porém, é convém afirmar que, na rizosfera, os microrganismos do solo, como fungos e bactérias e outras atuações de agentes biológicas podem aumentar a dissolução de minerais por meio da liberação de íons e da complexação efetuada por compostos e ácidos orgânicos que reagem com as superfícies dos minerais (KAMPF; CURI; MARQUES, 2009).

Não obstante, para aplicar de maneira ativa os agrominerais silicáticos aos solos é necessário mostrar condições biológicas convenientes (MARTINS, 2009). A microbiologia do solo se constitui como fator decisivo da fertilidade do solo, pois os organismos podem tornar os nutrientes minerais biodisponíveis as plantas.

Na pesquisa sobre remineralizadores destaca-se a relevância dos processos microbiológicos quanto a eficiência destes, pois o fornecimento dos elementos integrados em suas estruturas dependerá da subsistência e desempenho microbianos na desestruturação dos minerais das rochas. A atividade da macro, meso e microfauna do solo são objeto de pesquisa, pois estes organismos podem influenciar a solubilização das rochas e disponibilização dos nutrientes. De acordo com estudos realizados por Dalcin (2008), Lopes-Assad et al., (2006, 2010) e Ubiana et al. (2011) a biota do solo é atuante em processos relacionados com a liberação de nutrientes. As interações sinérgicas proporcionadas por microrganismos com as plantas e nos ciclos de substâncias minerais, como a fixação biológica de nitrogênio por bactérias, ou na micorrização com fungos, podem ser fundamentais para aquisição de nutrientes (WALLANDER; WICKMAN, 1999; BASAK; BISWAS, 2008, 2017).

Muitas das plantas apresentam associação com fungos micorrízicos e bactérias. Tais microrganismos podem influenciar na disponibilidade de nutrientes pela ação catalítica de suas enzimas e exsudação de ácidos orgânicos como o oxálico, cítrico e salicílico, que podem liberar nutrientes da rede cristalina dos minerais, e ainda ajudam na mobilização de nutrientes pelas raízes (TEODORO et al., 2010).

Vários estudos demostram a relação de sinergia entre microrganismos e material mineral. Primavesi (2010) indica *Aerobacter* spp., *Bacillus* sp. e *Pseudomonas* spp. como sendo capazes de oxidar o silício e mobilizar fósforo na rizosfera. Barker et al., (1998) e Basak et al., (2017) mostram que a capacidade de liberação de cátions como K, Mg e Fe é motivada pela diminuição do pH da solução, por motivo da associação de prótons com moléculas de ácidos orgânicos. Contudo, a respiração microbiana, a desintegração de partículas minerais, e o carbono orgânico dissolvido em água podem elevar a concentração de ácido carbônico na superfície dos minerais, em solos e em águas subterrâneas, o que pode aumentar as taxas de intemperismo mineral, por esse mecanismo de dissolução protonada (CALVARUSO et al., 2006).

Um outro ponto de vista relevante trata-se da possibilidade de potencializar a liberação de nutrientes das rochas silicáticas por intervenção de processos de biossolubilização ou biointervenção. Nesta perspectiva, Basak et al., (2017) mostram de que, microrganismos capazes de solubilizar rochas e apontam os

mecanismos de mobilização de nutrientes como a dissolução por ácidos orgânicos a produção de complexos metálicos e ligantes, e a formação de biofilmes nas superfícies dos minerais. Badr (2006) desenvolveu um estudo sobre a inoculação de bactérias do gênero *Bacillus* sp. em processo de compostagem e aplicou o mineral feldspato para avaliar a capacidade de mobilização de K e verificou efeitos significativos desta prática.

Já Sugumaran; Janarthanam (2007) e Grigis et al., (2008), desenvolveram estudos em laboratório com os minerais muscovita, mica, e ortoclásio, e também evidenciaram liberação significativa de K e incremento deste mineral na forma solúvel, nos minerais. Rosa-Magri et al., (2012) utilizando o pó de rocha de origem alcalina e ultramáfica em associação com o fungo *Torulaspora globosa* relatam incremento de 38% da liberação de K do pó de rocha ao inocular a estirpe. E foram comprovados em alguns estudos de que, esse conjunto de inoculantes, reunido a substâncias orgânicas complexas melhoram a eficiência de absorção dos elementos minerais no solo, na medida em que facilitam a ativação biológica do mesmo. Obrigando assim, a diminuição da quantidade total básicas de utilização desses elementos minérios (IBA, 2020). Por isso, as substâncias húmicas relacionam-se com o material mineral, estimulando assim, no desempenho de nutrientes no sistema solo-planta e realizando um papel essenciais na assistência da fertilidade do solo (MENDOZA, 1996).

Dessa forma, a biointervenção, pela ação de conjuntos funcionais de processos biológicos apropriados aos ecossistemas tropicais, pode contribuir para abastecimento de nutrientes as plantas, com custos reduzidos e menor dano ambiental (LOPES et al. 2000; TRINDADE et al. 2001).

Resultados do uso de pó de rocha

O acréscimo de rochas trituradas em solos agrícolas pode trazer resposta positiva em culturas de utilidade econômica (KNAPIK; ANGELO, 2007). O fonolito vem sendo utilizado em experimentos agrícolas e apresenta em média 5,71% de cloreto de potássio K₂O, 0,88% de cloreto de cálcio CaO, 3,96% de Fe₂O₃, 9,63% de Na₂O e 0,17 MnO. No que diz respeito à acidez, é classificada como intermediária (52-65% de SiO₂). Essa rocha apresenta minerais como feldspato potássico e feldspatóides, que são fontes de K e Ca.

Experimentos a campo com fonolito possibilitaram resultados semelhantes ao KCl na disponibilização de K e no rendimento de grãos, para as culturas do arroz, feijão, milho e soja (Crusciol, 2008). Destaca-se que para o suprimento de nutrientes a curto prazo, a granulometria mais fina passa a ser o fator predominante na efetividade da rocha. Por outro lado, em teste feito por Wilpert; Lukes (2003) e Teixeira et al., (2015) os conteúdos foliares de K com aplicação de fonolito ao solo foram aproximadamente os mesmos da testemunha, indicando baixa eficiência do pó desta rocha na disponibilização do potássio. Contudo, esse comportamento pode ter ocorrido em função do pouco tempo decorrido entre a incubação com o pó da rocha até a coleta da parte aérea.

Rochas que contenham minerais do tipo flogopita, biotita ou feldspatóides vêm ganhando destaque nos estudos (NASCIMENTO; LAPIDO- LOUREIRO, 2004). As rochas de origem sedimentar, formadas a partir da evaporação de sedimentos marinhos, são os minerais averiguados como matéria-prima na construção de fertilizantes K tendo em conta a sua elevada solubilidade em água. Essa classe é composta por sulfato e/ou cloretos de potássio e apresentam teores significativos de K₂O em sua composição, variando entre 10-63%. Dentre os minerais desta classe apenas a silvita e a carnalita são amplamente utilizadas como fontes tradicionais para a produção de fertilizantes (NASCIMENTO & LOUREIRO, 2004).

Com isso, é relevante salientar que, algumas rochas podem ter efeito na correção da acidez do solo (PRIYONO; GILKES 2008; THEODORO et al., 2010), de acordo a observação feita o aumento de até uma unidade de pH pela aplicação de fonolito ao solo, atribuindo esse fato a presença feldspatóides do tipo nefelina (Na, K) AlSiO₄ e leucita: (Na, K) AlSi₂O₆ e outros feldspatos alcalinos na sua mineralogia (WILPERT; LUKES, 2003).

O uso de rochas brecha piroclástica e flogopita em um Latossolo Amarelo distrófico pobre em K, disponibilizou K e elevou o pH do solo, o que representa a capacidade corretivo desse material e ainda como solubilizador de P (RIBEIRO et al., 2010). A utilização de remineralizadores traz benefícios ao solo, portanto aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) por ocorrer formação de neominerais de argila à medida que ocorre o processo de intemperismo da rocha (MELAMED et al., 2007). É de suma importância ressaltar que, a incorporação

de uma tonelada de remineralizador por hectare/ano que contenha K, Ca, Mg pode renovar a fertilidade de solos pobres em nutrientes, como é o caso dos solos do Cerrado brasileiro (FYFE et al. 1983). Como por exemplo: a utilização de mica, dentre os minerais silicatados, pode ser viável na renovação da fertilidade do solo, por terem apresentado a característica de potencial para liberação de K.

Um estudo conduzido por Duarte et al. (2013) com três rochas fontes de potássio (olivina melilitito, sienito e granito) avaliadas em dois solos, indicou que a olivina melilitito disponibilizou maiores quantidades de potássio, independentemente da menor quantidade de óxido de potássio no material, e não diferiu do tratamento com KCl em relação à absorção de potássio no cultivo em sucessão de feijão, trigo e trigo mourisco e na liberação deste elemento aos solos. Além disso, rochas que contêm micas como illita, muscovita e/ou biotita, quando combinadas com inoculação com estirpes de bactérias eficientes (*Bacillus pasteurii*, *B. cereus* e *B. mucilaginosus*) favoreceram a absorção de K e a produção das culturas do trigo, pimenta, amendoim em experimentos a campo (MIKHAILOUSKAYA; TCHERNYSH, 2005; BADR, 2006; SUPANJANI et al., 2006; YOUSSEF et al., 2010).

Carvalho (2012) evidenciou aumento do pH, na CTC pH 7 e no fósforo remanescente, 50 dias após o período de incubação de pó de gnaisse. Aos 450 dias após a aplicação dos tratamentos, o pó de gnaisse ainda aumentou o pH. Wolschick et al. (2016) destacaram que o pó de basalto misturado com substratos como cama de aviários ou outro tipo de esterco curtido, associado ou não com fertilizantes solúveis, além de melhorar as características químicas dos solos, pode aumentar a produtividade das plantas.

Apesar dos basaltos apresentarem baixas quantidades de potássio, alguns trabalhos têm indicado efeitos benéficos na absorção de potássio pelas plantas (NICHELE, 2006). Kudla et al. (1996). desenvolveram um estudo com pó de basalto utilizado em um Cambissolo Álico em cultivo de trigo, com doses de 0 a 225 Mg ha⁻¹, com aumento na produção de grãos. A utilização de pó de basalto isolado e em associação com esterco bovino aumentou a produtividade de moranguero quando comparado ao controle (KOPANSKI et al., 2012).

No entanto, Sékula (2011) avaliando cultivos orgânicos no município de Guarapuava (PR), em área de Latossolo, aplicou o pó de basalto associado com

biofertilizantes como técnicas preferenciais de adubação. Nos tratamentos foram utilizadas aplicações foliares de biofertilizantes, ureia líquida e supermagro. Foram avaliadas as culturas de verão como milho, girassol, feijão, soja e de inverno aveia preta, azevém, ervilha e cevada. Não houve alteração na fertilidade do solo, nem no rendimento das culturas entre os tratamentos.

A rochagem pode aumentar a retenção de água no solo, com melhoria no desenvolvimento radicular e na resistência das plantas a intempéries climáticas como veranicos (ANDRADE et al., 2002; BARBOSA FILHO et al., 2000; MACHADO et al., 2005). Ainda, quando seu uso é associado ao uso de biocompostos e a outras técnicas de manejo como adubação verde, os efeitos podem ser mais evidentes, associados à mineralização de carbono e N, o que beneficia a ciclagem de nutrientes ao longo do tempo, contribuindo para a saúde vegetal dos sistemas (MERSI, 1992; MARTINS, 2009).

Outro aspecto que pode ser considerado é a presença de elementos traço, tóxicos e contaminantes, como metais pesados nos agrominerais, o que pode trazer desequilíbrios nutricionais no sistema solo planta (MOREIRA et al., 2006). Dessa forma, é necessário avaliar o risco ambiental com base nos níveis de toxidez de metais no solo ao utilizar os pós de rocha. Neste sentido, Resende et al. (2006), Muniz et al. (2007) e Martins et al. (2008) citam que não há registros nas pesquisas brasileiras sobre problemas relacionados à contaminação ou à toxidez causados pela aplicação de agrominerais.

Entretanto, se as fontes agrominerais se mantiverem efetividade agronômica e econômica, podem ser opção de fertilizantes para os agricultores, o que reduziria os impactos gerados pela importação de fertilizantes minerais (THEODORO; LEONARDOS, 2006). Para validar o uso da rochagem na recuperação de solos degradados e/ou intemperizados, é de interesse o conhecimento da mineralogia e o conteúdo elementar das rochas, além de estimular a ação da microbiologia do solo, pelo emprego de práticas complementares de fertilização como o uso de composto orgânico bokashi, biofermentados, considerando a sua colaboração para os processos de liberação de nutrientes (MARTINS, 2009; BASAK et al., 2017).

Uma das principais estratégias para aumentar a solubilização dos pós de rocha é a aplicação de materiais com elevada atividade biológica, tais como compostos orgânicos bokashi. Dessa forma, o uso de pós de rocha em

associação com alterações biológicas naturais pode ser uma alternativa para acelerar a disponibilização dos nutrientes as plantas (HARLEY; GILKES, 2000; WANG et al., 2000; MOHAMMED et al., 2014).

Estas orientações agregam-se com o conceito de biointervenção de minerais silicatados (BISWAS; BASAK, 2013, 2014), o qual implica em acelerar a taxa de liberação de nutrientes, por meio de processos fermentativos como a compostagem e a inoculação de microrganismos eficientes (EM) (KHATOUNIAN, 2001; HOYOS, 2009). Vários trabalhos feitos sobre microbiologia em sistemas orgânicos mostram a possibilidade destes organismos como agentes modificadores nos agroecossistemas (BARETTA et al., 2005).

Biofertilizante orgânico tipo bokashi

Relativamente a produção de composto orgânico utilizado no experimento bokashi, desde a composição de uma leira, há a aumento do metabolismo aeróbico de microrganismos, com liberação de calor, dióxido de carbono, metabólitos e vapor d'água. O emprego de sucessivas reviradas pode produzir um composto consolidado e biodisponível, geralmente num período curto de tempo, de 7 a 21 dias (RESTREPO, HENSEL, 2015; FAO, 2011b).

O composto orgânico tipo bokashi é originário do Leste Asiático, no entanto também foi admitido em comunidades agrícolas na América Central e do Sul (ENDRIANI, 2003). Não há uma formulação estabelecida para o bokashi, visto que as receitas são de base empírica e diversificadas, adequadas a diversas funções. Sua estruturação se ajusta com base nos insumos localmente acessíveis. As exigências nutricionais de cada cultura a implantar na unidade produtiva também são base para a escolha dos componentes (SOUZA, ALCÂNTARA, 2008).

Há relatos na literatura a respeito da fabricação do bokashi com metabolismo essencialmente anaeróbico ou fermentativo (YAMADA, XU, 2001; ALATTAR, 2012), entretanto, a ênfase se dá no processo aeróbico. Os materiais ou resíduos orgânicos empregados na produção do bokashi são apresentados na (tabela 1)

Tabela 1 - Ingredientes da receita original do tipo bokashi.

Esterco de animais (cama de poedeiras, bovino, suíno, caprinos e/ou equino)
Carvão moído
Farelos vegetais (arroz, trigo)
Cascas de arroz ou café, palhas ou resíduos de colheita
Calcário agrícola, cinza ou pó de rocha de rocha
Melaço, melado, açúcar, glicose
Leveduras e inoculantes
Solo peneirado (preferência argiloso)
Água

Fonte: Restrepo, Hensel (2015). Adaptado pelo autor (2021).

Aplicação de remineralizadores em associação com composto orgânico bokashi para liberação de nutrientes no cultivo de milho.

A produção de grãos no Brasil e a alta dependência externa de matérias primas para produção de fertilizantes é um dos principais questionamentos relacionados com a sustentabilidade da produção agrícola no país. Entre as culturas produzidas no Brasil, o milho é considerado a segunda maior cultura de importância, após a soja. O Brasil ocupa a terceira posição na produção deste cereal a nível mundial, atrás apenas dos Estados Unidos e China (FAO, 2015).

Dessa forma, o uso de pós de rocha associado com composto orgânico do tipo bokashi pode ser uma prática para aumentar a sustentabilidade da produção de milho (EMBRAPA, 2006). A rochagem é a técnica agrícola, que consiste na aplicação de rochas moídas ao solo, sendo também um instrumento social, com propósito de diminuir a dependência de adubos solúveis, onde sua interação no sistema solo possibilita a restituição ou remineralização de solos empobrecidos e incremento e disponibilização dos nutrientes para as plantas (THEODORO et al., 2006).

Assim, é necessário selecionar fertilizantes que possam fornecer tanto macro como micronutrientes, e, sobretudo que apresentem menor custo. Uma das alternativas na fertilização do solo e na nutrição de planta é a utilização de pós de rocha (HENRIQUES, 2003; MORAES, 2004; THEODORO, LEONARDOS, 2006). Associar tais fontes de baixa solubilidade com processos

biológicos, como a compostagem e aplicação na fabricação do biocomposto tipo bokashi pode suprir a demanda de nutrientes para as plantas (MELAMED, GASPAR, 2005).

A atividade biológica na rizosfera pode gerar exsudatos radiculares e ácidos orgânicos, que podem aumentar a dissolução dos minerais pela liberação de íons e de compostos orgânicos complexantes, que contribuem para acelerar as reações nas superfícies dos minerais (BENNETT et al., 1998; ZHU et al., 2013). Tais reações podem acelerar a liberação de nutrientes a partir de materiais de solubilidade mais lenta como os pós de rocha.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), no Centro de Ciências Agroveterinárias (CAV) no município de Lages, Santa Catarina, durante o período de outubro de 2021 a fevereiro de 2022, em casa de vegetação e em laboratório.

Caracterização das rochas estudadas

Foram utilizados o lamprófiro e fonolito (FN) coletados em Lages, SC, nas coordenadas geográficas 27°38'37"S 50°9'18"O, e a olivina melilitito (OM), coletada em Palmeira, SC, nas coordenadas geográficas 27°38'57,33"S 50°07'51,02"O. Os materiais foram coletados em blocos irregulares, os quais foram posteriormente britados e moídos em moinho de grelhas no CAV/UDESC, sendo realizado o quarteamento das amostras, as quais foram peneiradas para obter a fração granulométrica.

Análises granulométricas das rochas

As amostras foram secas em estufa a 65°C e após isso, foram submetidas ao peneiramento mecânico no jogo de peneiras de 1,0; 0,5; 0,250; 0,125; 0,053 e <0,053mm com auxílio de um agitador eletromecânico modelo Solotest por 15 minutos, em potência nominal de 8 em uma escala de 1 a 15. As frações maiores do que 2 mm foram descartadas. Foi determinada a granulometria da fração inferior a 2 mm de cada rocha a partir de 200g de amostras de material seco, com quatro repetições, no Laboratório de Gênese e Mineralogia do Solo. Ao

término de cada bateria quantificou-se em balança analítica a porcentagem de material retido em cada peneira.

Elaboração das formulações do bokashi

O biofertilizante tipo bokashi foi produzido na propriedade rural “Fazenda do Cedro” (Brunópolis, Santa Catarina), sendo constituído pelos seguintes materiais e proporções: cama de aves (27,42 %), solo (27,42 %), casca de arroz (27,42 %), farelo de arroz (1,37 %), pó de rocha ritmito (9,51 %), carvão (1,37 %), açúcar mascavo (0,034 %), cinza de madeira (1,00 %), leveduras (0,03 %) e água até atingir umidade desejada.

Delineamento experimental

O bioensaio foi conduzido em casa de vegetação em delineamento experimental inteiramente casualizado (DIC), em esquema bifatorial 2x8, sendo quatro repetições, e 16 tratamentos, onde o fator fertilizante orgânico bokashi foi composto por três níveis (tipos de rochas), lamprófiro, olivina melilitito e fonolito e o fator dose, composto por dois níveis/doses de bokashi, o experimento foi conduzido num período de 180 dias. Durante este tempo, amostras de um Cambissolo foram incubadas em sacos plásticos com os seguintes tratamentos:

Tabela 2 – tratamentos.

T1= Bokashi (5t) + Olivina Melilitito (5t)	T9= Lamprófiro (5t)
T2= Bokashi (5t) + Olivina Melilitito (10t)	T10= Lamprófiro (10t)
T3= Bokashi (5t) + Lamprofiro (5t)	T11= Fonolito (5t)
T4= Bokashi (5t) + Lamprofiro (10t)	T12= Fonolito (10t)
T5= Bokashi (5t) + Fonolito (5t)	T13= Bokashi (5t)
T6= Bokashi (5t) + Fonolito (10t)	T14= Bokashi (10t)
T7= Olivina Melilitito (5t)	T15= NPK
T8= Olivina Melilitito (10t)	T16= Controle

Para efeito de comparação foram adicionados mais dois tratamentos, sendo eles adubação de NPK, com emprego de superfostato triplo e cloreto de potássio; além de um controle.

Tabela 3. Composição química elementar das rochas - ALS (Peru).

Rocha	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO %	Na ₂ O	K ₂ O	MnO	P ₂ O	Cu	Zn -- ppm--
Fonolito	53,6	22	3,96	0,88	0,11	9,63	5,71	0,17	0,02	15	146
Olivina	38,2	8,84	11,25	13,55	15,05	2,98	2,84	0,19	1,18	101	107
Melilitio											
Lamprófiro	42,10	9,00	4,70	13,30	13,50	4,00	1,00	0,22	1,30	-	-

Nota: 1- Média obtida pelo trabalho Furtado; Scheibe, 1989.

O estudo foi conduzido com amostras do horizonte superficial (0,00 - 0,20 m) de um Cambissolo Háplico distrófico (CHdist), o qual foi coletado em área não cultivada próximo a Lages, SC, na localidade de Pedras Brancas. As amostras foram secadas ao ar, destorroadas, e passadas em peneira de malha de 4 mm e, em seguida, acondicionado o equivalente a 3 kg de solo seco em sacos com capacidade de 5,5 kg, ajustando a umidade de trabalho para 80% da capacidade de campo, com água destilada, e foram misturados e homogeneizados com mão e colocados dentro dos sacos. Os sacos foram colocados em baixo de uma bancada na casa de vegetação e incubados por 180 dias no escuro, a reposição de água destilada foi feita com base na perda de massa do recipiente, que foi verificada e pesada a cada três dias, e as coletas foram feitas no intervalo de trinta em trinta (30) dias. De 90, 120, 150 e 180. Após a coleta as amostras de solo foram secadas ao ar, em casa de vegetação, destorroadas, moídas e peneiradas com malha de 4 mm, e depois foi retirada 300kg de solo em cada amostra para análise químico.

Tabela 4. Análise química prévia do Cambissolo Háplico distrófico, realizada pelo laboratório de análises químicas CAV-UDESC.

pH	Ca	Mg	Al	H + Al	CT efetiva	CTC pH 7	K
----- cmolc dm ⁻³ -----							
4,9	0,97	0,63	1,9	15,4	3,59	17,09	0,092
MO	CO	Argila	Saturação Al	V%	Ca/Mg	(Ca+Mg) /	K/Ca+Mg
----- % -----							
2,7	1,57	19	52,92	9,9	1,5	17,391	0,07
Cu	Zn	Fe	Mn				
----- mg dm ⁻³ -----							
1,5	1,7	108,4	4				

Análises do solo incubado

A liberação dos nutrientes foi avaliada aos 90, 120, 150 e 180 dias por meio das análises de pH em água, cálcio (Ca), magnésio (Mg) potássio (K) e sódio (Na) trocáveis do solo, com base na metodologia recomendada por Tedesco et al. (1995).

Para as análises químicas, utilizaram-se amostras da fração terra fina seca ao ar (TFSA) para determinação do teor de macronutrientes da fase trocável (metodologia Tedesco et al., 1995) e solução do solo (Embrapa, 2003, para quantificados via ICP-IOS). O pH em água foi determinado em potenciômetro na relação solo e solução de 1:1.

Ca e Mg foram extraídas em solução KCl 1M e determinados por titulação, K e Na foram extraídos com acetato de amônio 1 M e analisados em espectrofotômetro de chama.

Avaliação do desenvolvimento das plantas de milho

No ensaio conduzido com o cultivo do milho foram testados os mesmos tratamentos utilizados no ensaio de incubação.

A unidade experimental foi constituída de vasos com capacidade de 5,5 L, com uso de 3 kg de solo seco, com umidade de trabalho de 80% da capacidade de campo, obtida com adição de água destilada, e foram misturados e homogeneizados com mão e foram colocadas dentro dos vasos e os mesmos foram colocados em cima de uma das bancadas durante 45 dias. O experimento foi conduzido em casa de vegetação. Foram semeadas 5 sementes, e posteriormente realizou-se o raleio, deixando 3 plantas por vaso de milho crioulo tipo branco por unidade experimental, e a irrigação foi feita com água destilada, com base na pesagem dos vasos a cada dois dias. A reposição de água destilada foi feita de igual modo a do solo incubado com base na perda de massa do recipiente, que foi verificada e pesada a cada três dias.

A colheita ocorreu com separação da parte aérea e raízes das plantas aos 45 dias após a semeadura. A fitomassa foi seca a 65 °C em estufa por 24 h. Em seguida, as amostras foram trituradas em moinho, pesadas e submetidas à

digestão, posteriormente prosseguida com a leitura das amostras para determinar os teores de macro e micronutrientes, seguindo metodologia Tedesco et al., (1995).

Análises químicas da parte aérea do milho

As análises químicas da parte aérea do milho foram realizadas seguindo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995). Onde, foi feita a digestão das amostras, onde foi pesado 0,200g de amostras e colocadas em tubos de digestão secos, e foi adicionada 1ml de H₂O₂, depois foi colocada 2ml de H₂SO₄ concentrado, e posteriormente foi adicionada 0,7g da mistura de digestão e estas amostras foram colocadas no bloco digestor no intervalo de 160-180°C até que evaporou a água. Depois a temperatura foi aumentada em níveis entre 350-375°C, depois de mudança de amarelo-esverdeada, esta temperatura foi mantida por uma hora. Após passar uma hora, foram retirados os frascos do bloco e foram arrefecidas e depois completou-se com volume de água destilada até a marca de aferição (50 ml). E por último, foram transferidos para frascos “snap-cap” de 90 ml, e ficaram de repouso algumas horas antes das extrações das alíquotas para as determinações de K, Ca e Mg.

As concentrações de Ca, e Mg no tecido das plantas foram quantificadas em espectrômetro óptico de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) (Optima® 8300, Perkin Elmer, USA).e o K por fotometria de chama (MURPHY, RILEY, 1962).

Análise estatística

Os atributos químicos e teor de nutrientes no solo, e os teores de nutrientes e seu acúmulo no tecido vegetal da planta de milho foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, e quando atendido os pressupostos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa estatístico STATGRAPHICS (Statgraphics), e as médias comparadas pelo teste t para contrastes, com nível de significância de 5%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O propósito da aplicação de pó de rocha em solo de forma isolada e em associação com composto orgânico foram semelhantes na correção da acidez do solo, disponibilidade dos nutrientes no solo e na estabilização do pH do solo, no entanto, os valores de pH das amostras de solo incubados com pó de rocha em associação com bokashi, aumentaram, ou seja, responderam melhor no aumento e estabilização do pH do solo incubado durante o período de incubação (180 dias), em relação aos tratamentos com aplicação de NPK e controle.

Os maiores valores de pH H₂O foram constatados no tratamento BOM10 t ha⁻¹, (4,7 a 4,8), com semelhança aos tratamentos OM10 t ha⁻¹ e BOM5 t ha⁻¹ ao longo da incubação (Figura 1). Nos tratamentos NPK e controle houve os menores valores de pH H₂O aos 90, 120 e 180 dias da incubação.

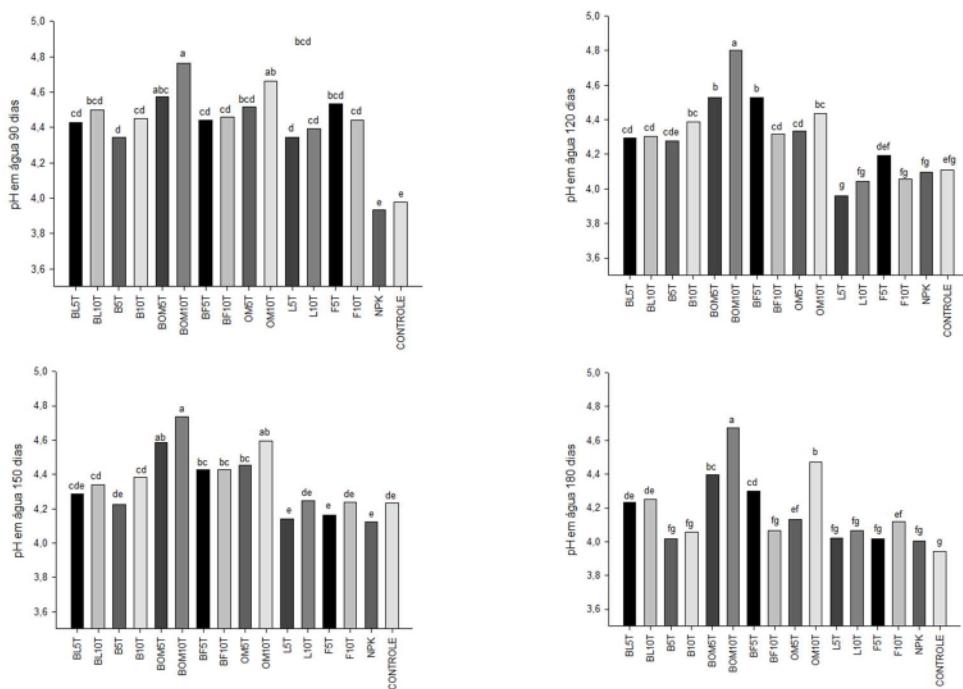


Figura 1 - Valores médios do pH H₂O avaliados em tempos de coleta 90, 120, 150 e 180 dias após a incubação dos tratamentos, Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprófiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK e controle (só solo). No que se refere as letras colocadas nas figuras, servem para distinguir as diferenças estatísticas dos tratamentos avaliados. Os teores de nutrientes no solo, foram submetidos ao teste de normalidade Kolmogorov-Smirnov, e quando atendido os pressupostos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) com o auxílio do programa estatístico STATGRAPHICS (Statgraphics), e as médias comparadas pelo teste t para contrastes, com nível de significância de 5%.

Os maiores valores de pH H₂O foram constatados no tratamento BOM10 t ha⁻¹, (4,7 a 4,8), com semelhança aos tratamentos OM10 t ha⁻¹ e BOM5 t ha⁻¹

ao longo da incubação (Figura 1). Nos tratamentos NPK e controle houve os menores valores de pH H₂O aos 90, 120 e 180 dias da incubação.

Resultado alcançado em um experimento conduzido por CUNHA, (2018) demonstra que os valores do pH em água obtidos na dose máxima e na granulometria mais fina do pó de rocha superaram àqueles medidos nos tratamentos com calcário. No tratamento olivina + bokashi na dose de 10 t ha⁻¹ o pH em água atingiu aos 180 dias, foi superior aos outros tratamentos, sendo o controle e NPK foram os que apresentaram menores valores em comparação com os demais tratamentos.

Com base nas avaliações da petrografia e da difratometria de raios X, a rocha olivina melilitito apresentou assembleia de minerais facilmente intemperizáveis, o que a qualifica como de maior potencial de liberação de nutrientes em comparação com as demais rochas quando aplicada aos solos na forma de pó de rocha ou remineralizador de solos. Tendo estas características, de fácil intemperização, e associado com composto orgânico bokashi, a probabilidade de aumentar a sua potencialidade de aumento do pH, e da liberação dos nutrientes as plantas, ainda é maior, tendo em conta ação dos microrganismos que estimulam a atividade biológica, e assim acabam potencializando o processo de solubilização da rocha.

De acordo com Lopes-Assad et al, (2006), o aumento do pH ocorre pela liberação das bases à medida que ocorre a solubilização dos minerais dessas rochas. Por outro lado, Gillman et al. (2001) indicam que doses elevadas de pós de basalto podem ter efeito no aumento do pH em solos ácidos, o que também foi observado pela aplicação de olivina melilitito em associação com bokashi, que aumentou o pH do solo incubado.

É possível identificar incrementos significativos dos nutrientes nos solos incubados pela aplicação de bokashi e pós de rocha. As maiores liberações de nutrientes foram observadas nos tratamentos de pós de rochas associados com bokashi, e nos tratamentos com aplicação isoladas dos pós de rocha e bokashi isolado. Já nos tratamentos com aplicação de NPK e controle são os que realmente apresentaram menor eficiência no que diz respeito a liberação dos nutrientes nos solos incubados, quase em todos os intervalos avaliados. Os teores de cálcio, potássio, magnésio e sódio foram liberados de certa forma com a interferência dos microrganismos solubilizadores e do tipo de rochas,

ocorrendo interações significativas entre microrganismos e rocha, isso foi constatado nos resultados alcançados perante avaliação deste estudo, principalmente a rocha olivina melilitito que obteve melhores respostas em todos os intervalos. (Figuras 2, 3, 4, 5). com isso, é relevante ressaltar que a junção dos pós de rocha com composto orgânico, tem grande benefício tendo em conta as funções dos microrganismos na aceleração de processo de disponibilização dos nutrientes contidos nas rochas.

Como foi enfatizado em alguns trabalhos. Ainda entre as funções esse processo na rizosfera e a atividade biológica geram exsudatos radiculares e ácidos orgânicos de baixo peso molecular como o oxálico, cítrico, tartárico, málico, entre outros, e podem aumentar a dissolução dos minerais pela liberação de íons H⁺ e de compostos orgânicos complexantes, que contribuem para acelerar as reações nas superfícies dos minerais (BENNETT et al., 1998; ZHU et al., 2013). Neste trabalho não foi diferente dos outros trabalhos que foram conduzidos com o mesmo objetivo, a interferência do composto orgânico nas estruturas dos minerais foi produtiva no ponto de vista agronômica.

No que se refere, a diferença entre as rochas avaliadas, as rochas silicáticas normalmente contêm nutrientes de plantas em quantidades e disponibilidades que variam em função dos minerais presentes nas rochas. De acordo com literatura os principais minerais ligados à disponibilidade de K nos solos brasileiros são os feldspatos potássicos, micas, vermiculitas e esmectitas (Curi et al., 2005).

E também foram mencionados os altos teores de K₂O por Guimarães (1964, 1967) e por Chaves et al. (1971), abordando seu uso como fonte não convencional de potássio para produção de fertilizantes. Guimarães & Dutra (1969) também fizeram cálculos de uma reserva superior a 6 bilhões de toneladas de rocha potássica, com uma espessura média de 20 m e uma área de ocorrência de 200 km na região de Cedro do Abaeté, a aproximadamente 18 km a NE da área de trabalho. Também os autores, (LUZ e LINS, 2008; OLIVEIRA, 2009) relataram sobre uma das principais fontes de potássio em fertilizantes, que são os sais solúveis de potássio encontrados em depósitos de evaporitos, e ainda frisaram que, esses são muito solúveis em água, podendo ser explorados e processados de forma mais fácil. Que são produto resultante

da meteorização das rochas ígneas e encontra-se nos mares, lagos salgados e nas jazidas de evaporitos, intercalado nas rochas sedimentares.

Entre as rochas utilizadas neste trabalho, as mesmas com maior conteúdo total de K, em ordem decrescente, foram fonolito, e olivina melilitito, com base na composição mineralógica, as rochas com potencial mais promissor para solubilização de potássio, em ordem de importância, foram o fonolito, pelo maior conteúdo de sanidina e nefelina.

Olivina melilitito e lamprofiro são as rochas com maior conteúdo total de cálcio e magnésio em relação ao fonolito, e baixos teores de elementos tóxicos, revelando que apresenta um potencial promissor para ser utilizada como matéria-prima para a produção de um remineralizador multinutrientes. Comparando com o que alcançado neste estudo, foi totalmente contrário no que diz respeito a liberação do potássio K.

Olivina melilitito obteve a maior resposta na disponibilidade de nutrientes nos solos incubados em todos os intervalos incluindo o potássio, com exceção de sódio que foi liberado em grande quantidade por lamprófiro (Figura 3).

A maior dose (10 t ha^{-1}) aumentou o pH em água e a liberação de Ca, K e Na em todos os intervalos avaliados nos solos incubados quando comparada aos tratamentos com a dose de 5 t ha^{-1} . Já na liberação de Mg houve variação entre duas doses em todos intervalos a dose 10 t ha^{-1} foi melhor e em outros a dose 5 t ha^{-1} respondeu melhor.

Constata-se, portanto, que na avaliação feita nesse estudo, é visível a compreensão das respostas no que se refere a liberação dos nutrientes ao longo do tempo de incubação. Deve ser destacado, novamente, o alto potencial de liberação dos nutrientes da rocha olivina melilitito, cuja aplicação ao solo resultou nos maiores níveis de nutrientes liberados em comparação dos demais tratamentos testados. A boa qualidade desta rocha como remineralizador de solos para vários nutrientes foi recentemente demonstrada em ensaio com as culturas de soja e aveia em experimento conduzido em casa de vegetação (Almeida et al., 2018).

Segundo estudo conduzido pelo (Almeida et al., 2018) também aponta os efeitos positivos da olivina melilitito na correção da acidez, na redução dos teores de Al trocáveis e no aumento nos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} , independentemente da granulometria utilizada, mesmo em curto período de incubação (60 dias).

Os efeitos positivos da associação de estercos e fertilizantes convencionais com pó de rocha (rochagem) na liberação de nutrientes para a solução do solo e no desenvolvimento de plantas foram destacados em vários estudos. Osterrocht (2003) aponta que a qualidade dos minerais pelas plantas é maior quando aplicados em associação com esterco, uma vez que além de aumentar a atividade biológica do solo impulsionar a disponibilidade de nutrientes no solo.

Silveira & Lima (2007) avaliaram o desempenho do milho cultivado em solos adubados tanto com fertilizantes solúveis (NPK) quanto com mistura de esterco com pó de rocha e observaram maior altura e diâmetro de planta neste tratamento. Um outro estudo conduzido por Ferreira et al. (2009) com propósito de avaliar a nutrição de plantas de feijão cultivadas em um Cambissolo Húmico fertilizado com pó de basalto associado ou não com esterco bovino evidenciou que este fertilizante tem capacidade para melhorar a produtividade do feijão em relação ao uso isolado desse pó de rocha, uma vez que os microrganismos presentes no material orgânico possibilitam maior solubilização da rocha.

É importante salientar que, ao longo do tempo da incubação (180 dias), houve contribuição do bokashi na liberação dos nutrientes contidos nas rochas (Figura 2).

Para o cálcio, os maiores teores desse nutriente foram encontrados nos tratamentos com os pós das rochas olivina melilitito em associação com bokashi na 10t ha^{-1} no intervalo de 90 dias, nos tratamentos BOM10 t ha^{-1} ($0,72 \text{ cmolc/dm}^3$) e BOM5 t ha^{-1} ($0,62 \text{ cmolc/dm}^3$) em comparação dos demais tratamentos. Seguindo os tratamentos com B10 t ha^{-1} ($0,48 \text{ cmolc/dm}^3$) e OM10 t ha^{-1} ($0,48 \text{ cmolc/dm}^3$), que também destacou na liberação deste nutriente, apesar que não se igualaram os tratamentos com BOM10 t ha^{-1} ($0,72 \text{ cmolc/dm}^3$) e BOM 5 t ha^{-1} ($0,62 \text{ cmolc/dm}^3$), mas foram melhores em comparação dos demais.

Referente ao intervalo de 120 dias, o maior valor foi constatado no tratamento com B10 t ha^{-1} . Seguindo B 5 t ha^{-1} e OM10 t ha^{-1} , que também obtiveram menores valores em comparação B10 t ha^{-1} e maiores comparando com os demais tratamentos.

Já os tratamentos BL10 t ha⁻¹, OM5 t ha⁻¹ e BL5 t ha⁻¹ foram semelhantes entre si, mas obtiveram valores maiores em relação aos tratamentos NPK e controle que também não diferem entre si, mas, que apresentaram valores significantes menores em relação aos demais. O tratamento B10 t ha⁻¹ (0,95 cmolc/dm³) obteve o maior valor e difere dos demais tratamentos, seguida OM10 t ha⁻¹ e B5 t ha⁻¹, apresentaram valores menores em comparação a B10 t ha⁻¹ e os maiores valores em relação aos demais outros tratamentos, incrementando em média 90 %, os tratamentos com menores teores de cálcio nesta coleta, foram F10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ e controle. O bokashi respondeu com elevado teor de cálcio na coleta de 120 dias comparando com NPK e controle.

O maior conteúdo de cálcio na coleta de 150 dias foi verificado no tratamento BOM10 t ha⁻¹ (0,98 cmolc/dm³). Os tratamentos OM10 t ha⁻¹ e BOM5 t ha⁻¹ foram semelhantes entre si, mas obtiveram valores menores em comparação com BOM10 t ha⁻¹, e maiores em relação aos demais tratamentos, e B10 t ha⁻¹ apresentou maior valor em relação a BL5 t ha⁻¹ e OM5 t ha⁻¹ que também não difere entre si. Já BL10 t ha⁻¹, BF10 t ha⁻¹ e B5 t ha⁻¹ também não diferem entre si, e os tratamentos F10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹, controle NPK foram os que apresentaram valores significativamente menores em relação aos demais outros tratamentos.

Os teores de cálcio liberados na coleta de 180 dias pelas rochas, mostrou a diferença significativa foi constatada entre os tratamentos BOM10 t ha⁻¹ (0,83 cmolc/dm³) e BOM5 t ha⁻¹ (0,61 cmolc/dm³), apesar de que apresentaram diferença estatisticamente entre si, mas, são os que obtiveram maiores teores de Cálcio nesta coleta. L5 t ha⁻¹, NPK, F10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ e controle são os tratamentos que, apresentaram os menores teores de Cálcio em relação aos demais. Os teores de Ca, e o acúmulo desses nutrientes no solo incubado (SI), foram superiores aos nos tratamentos olivina melilitito em associação com bokashi na dose de 10 t ha⁻¹.nos intervalos de 90, 150 e 180 dias. (Figura 2)

Destaque também deve ser dado ao composto orgânico bokashi, independentemente da sua interferência na liberação de nutrientes na rocha olivina na dose de 5 e 10T, apresentou um destaque na liberação deste nutriente na sua aplicação isolada nos intervalos de 90 e 120 dias. Os menores teores desse elemento foram encontrados nos tratamentos com Controle e com o NPK (Figura 2).

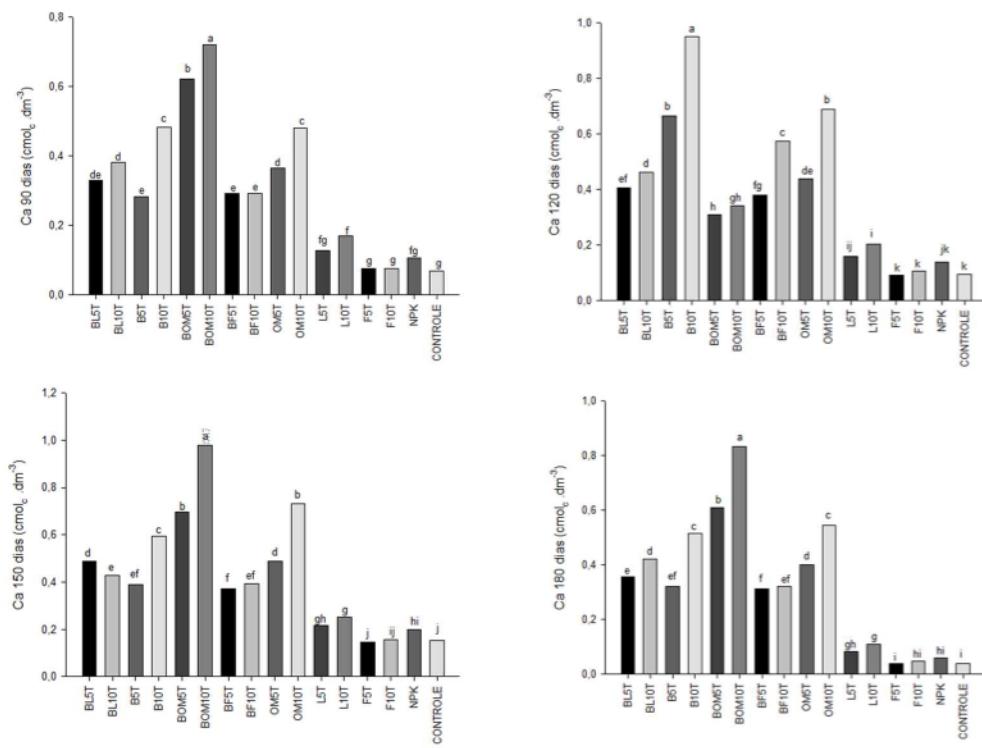


Figura 2- Valores médios dos teores de cálcio nos tratamentos avaliados em tempos de coleta 90, 120, 150 e 180 dias Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprófiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK e controle (só solo). No que diz respeito as letras colocadas nas figuras, servem para distinguir as diferenças estatísticas dos tratamentos avaliados.

Os maiores conteúdos de magnésio no solo incubado de 90 dias foram obtidos nos tratamentos com BOM10 t ha⁻¹ (0,78 cmolc/dm³), BOM5 t ha⁻¹ (0,76 cmolc/dm³), B10 t ha⁻¹ (0,76 cmolc/dm³) demonstrando incremento médio de 100 %. Não houve diferença estatisticamente significativa entre estes tratamentos, mas sim houve diferença entre os demais. Já nos tratamentos BL10 t ha⁻¹, BL5 t ha⁻¹, BF10 t ha⁻¹, B5 t ha⁻¹ e OM5 t ha⁻¹ também não diferiram entre si, apesar das diferenças expressivas no conteúdo de magnésio no solo entre os tratamentos, mas, foram os que apresentaram menores teores do magnésio em relação aos primeiros tratamentos citados em cima e maiores conteúdos em comparação aos demais restantes dos tratamentos.

Observou-se que os tratamentos com maiores conteúdos de magnésio no solo incubado de 120 dias, os tratamentos BI5 t ha⁻¹ (0,89 cmolc/dm³), BF5 t ha⁻¹ (0,87 cmolc/dm³), OM5 t ha⁻¹ (0,87 cmolc/dm³) B10 t ha⁻¹ (0,86 cmolc/dm³) e BOM10 t ha⁻¹ (0,83 cmolc/dm³) demonstrando incremento médio de 61,8 % e no teor final de Mg (Figura 10). Não houve diferença estatisticamente significativa

entre estes tratamentos, mas sim houve diferença com os demais. E quanto os tratamentos OM10 t ha⁻¹ (0,75 cmolc/dm³), BF10 t ha⁻¹ (0,75 cmolc/dm³), BL10 t ha⁻¹ (0,74 cmolc/dm³), B5 t ha⁻¹, (0,73 cmolc/dm³), BOM5 t ha⁻¹ (0,70 cmolc/dm³) e L10 t ha⁻¹ (0,60 cmolc/dm³) também não diferem entre si, apesar das diferenças expressivas no conteúdo de magnésio no solo entre os tratamentos, mas, foram os que apresentaram menores teores do magnésio em relação aos tratamentos supra citados e maiores conteúdos em comparação aos demais restantes dos tratamentos incluindo controle.

Em relação aos teores de magnésio liberados na coleta 150 dias, é notada superioridade dos tratamentos que obtiveram maiores valores em relação aos demais, os tratamentos OM10 t ha⁻¹ (0,95 cmolc/dm³), BL5 t ha⁻¹ (0,87 cmolc/dm³), foram os que apresentaram valores superiores e não diferiram entre si, já os tratamentos BL10 t ha⁻¹ (0,83 cmolc/dm³), B5 t ha⁻¹ (0,83 cmolc/dm³) e OM5 t ha⁻¹ (0,79 cmolc/dm³) demonstram incremento médio de 86,2 % apresentaram menores teores do magnésio em relação aos primeiros tratamentos citados em cima e maiores conteúdos em comparação aos demais restantes dos tratamentos.

Sobre a disponibilidade imediata de Mg aos 180 dias, o tratamento BOM10 t ha⁻¹ (1,20 cmolc/dm³) diferiu dos demais, seguido dos tratamentos BOM5 t ha⁻¹ (1,05 cmolc/dm³) e B10 t ha⁻¹ (0,99 cmolc/dm³) que foram iguais entre si, inferiores ao tratamento BOM10 t ha⁻¹ e superiores aos demais, demonstrando incremento médio de 150%. Os tratamentos L10 t ha⁻¹, L5 t ha⁻¹, controle, F10 t ha⁻¹, NPK e F5 t ha⁻¹, foram os menos eficientes e inferiores quanto a disponibilidade de Mg no solo aos 180 dias. Dessa forma é possível inferir que há liberação constante de Mg da estrutura dos minerais dos pós de rocha para solução do solo ao longo do tempo.

Os teores de Ca e Mg aos 90, 120, 150 e 180 dias tiveram os tratamentos BOM 5 t ha⁻¹, BOM 10t ha⁻¹ , OM 5t ha⁻¹, OM 10t ha⁻¹ e B 10t ha⁻¹ como os maiores significativamente, e também, tiveram resposta significativa de alguns tratamentos na disponibilização destes nutrientes, que são: BL5 t ha⁻¹ /BL10 t ha⁻¹ e BF5 t ha⁻¹, foram inferiores em comparação com os tratamentos BOM 5 t ha⁻¹, BOM 10t ha⁻¹ , OM 5t ha⁻¹, OM 10t ha⁻¹ e B 10t ha⁻¹ em termos de desempenho de liberação dos nutrientes, e que foram superiores aos tratamentos L5 t ha⁻¹ /L10 t ha⁻¹ , F5 t ha⁻¹ /F10 t ha⁻¹ e controle/NPK. O

desempenho destas rochas BL5 t ha⁻¹ /BL10 t ha⁻¹ e BF5 t ha⁻¹, foram verificados quando adicionada ao biofertilizante tipo “bokashi”. Muito contrário do desempenho da rocha olivina melilitito que obteve um desempenho significativa na sua aplicação isolada assim como em associação com composto orgânico.

No entanto, é convém afirmar que, a contribuição residual de Ca e Mg dos tratamentos BOM5 t ha⁻¹ /BOM10 t ha⁻¹, OM5 t ha⁻¹ /OM10 t ha⁻¹ e B10 t ha⁻¹ foram os maiores que os demais tratamentos, evidenciando o efeito a longo prazo na reposição de nutrientes na solução do solo. Já os tratamentos L5 t ha⁻¹ /L10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ /F10 t ha⁻¹ e controle/NPK foram os menores eficientes em repor Ca e Mg para a solução do solo.

Apesar de certas limitações de liberação de Ca e Mg em alguns pós de rocha, essa menor disponibilidade pode estar relacionada com o tamanho das partículas da mesma que reduzem a velocidade de solubilização da rocha e, consequentemente, afeta a eficiência e a liberação dos nutrientes para os solos no curto prazo. Mesmo assim, o incremento do conteúdo desses nutrientes destas rochas BL5 t ha⁻¹ /BL10 t ha⁻¹ e BF5 t ha⁻¹ nos solos incubados, foi crescente e muito expressivo, superando em todos os casos os valores da testemunha NPK e controle.

Percebe-se, portanto, que os efeitos positivos do pó da rocha olivina melilitito na correção da acidez, na redução dos teores de Al trocáveis e no aumento nos teores de Ca e Mg, independentemente da granulometria utilizada, são impremeditados, indicando um potencial excepcional dessa rocha como um remineralizador de solos. Os efeitos positivos do pó da rocha olivina melilitito na correção da acidez, na redução dos teores de Al trocáveis e no aumento nos teores de Ca e Mg, indicam seu potencial como remineralizador de solos.

A soma dos teores de Ca²⁺ e de Mg²⁺ nos tratamentos com calcário e com a dose máxima do pó da rocha (Filler-10) no Cambissolo pode atingir um nível muito elevado (7 cmolc kg⁻¹) do que é considerado adequado para esses cátions que é de 5,0 cmolc kg⁻¹ conforme a Comissão de Química e Fertilidade dos Solos dos Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Nesta ótica é de suma importância ressaltar que a aplicação de pó da rocha olivina melilitito em associação com bokashi foram eficientes para o aumento dos teores desses elementos nos solos, o que melhora química do solo (Figura 3).

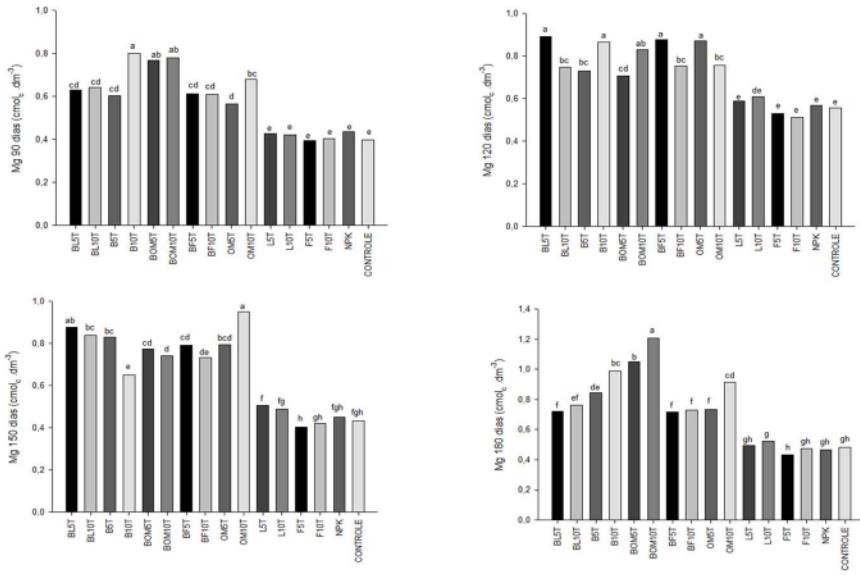


Figura 3 -Valores médios dos teores de magnésio nos tratamentos avaliados nas coletas de 90, 120, 150 e 180 dias Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

O teor de potássio na coleta aos 90 dias foi superior no tratamento BOM10 t ha⁻¹ (92,5 mg/dm³), seguido de B10 t ha⁻¹, BOM5 t ha⁻¹, BL10 t ha⁻¹ e BF10 t ha⁻¹ que foram superiores aos demais (Figura 13). Os valores menores apresentados nesta coleta foram L5 t ha⁻¹ /L10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ /F10 t ha⁻¹ e controle. A rocha olivina melilitito teve maior resposta na liberação deste nutriente tanto no solo incubado, quanto no cultivo de milho, pois pode ter ocorrido incremento na concentração desse nutriente na solução do solo, o que poderia ser confirmado nas análises do elemento na planta, ou no solo.

Os maiores teores de potássio (K) na coleta aos 120 dias, ocorreram nos tratamentos BOM10 t há⁻¹ e B10 háha⁻¹. Já os menores valores, foram constatados nos tratamentos L10 t ha⁻¹/L5 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ e controle.

Na coleta aos 150 dias, o maior teor de potássio foi constatado no tratamento BOM10 t ha⁻¹, que foi superior aos tratamentos B10 t ha⁻¹, BOM5 t ha⁻¹, OM10 t ha⁻¹ e BF10 t ha⁻¹, enquanto os tratamentos L10 t ha⁻¹/L5 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹ e controle apresentaram os menores valores.

Os teores de potássio na coleta aos 180 dias foram semelhantes aos da coleta aos 150, onde o maior valor foi no tratamento $BOM10\ t\ ha^{-1}$ (113). Na sequência $B10\ t\ ha^{-1}$, $BOM5\ t\ ha^{-1}$, $OM10\ t\ ha^{-1}$ e $BF10\ t\ ha^{-1}$ obtiveram valores inferiores ao $BOM10\ t\ ha^{-1}$, mas, mais elevados em relação aos demais tratamentos e que foram semelhantes entre si.

Deve ser destacado o alto potencial de liberação do potássio da rocha olivina melilitito, cuja aplicação ao solo aumentou o teor de nutrientes em relação aos outros tratamentos testados. A boa qualidade desta rocha como remineralizador de solos para vários nutrientes foi recentemente demonstrada em ensaio com as culturas de soja e aveia em experimento conduzido em casa de vegetação (ALMEIDA et al., 2018). E também foi comprovado num experimento “in vitro” realizado por Lopez-Assad et al. (2006), os autores testaram a solubilização de potássio a partir de olivina melilitito, proveniente da região de Lages e de um flogopítito da Bahia, após incubação com *Aspergillus niger*. Os resultados demonstraram que ao final de 21 dias, a rocha olivina melilitito disponibilizou mais potássio do que o flogopítito, apesar do menor conteúdo de K_2O na primeira.

Os efeitos da olivina melilitito nos teores de K foram evidenciados em vários estudos como, por exemplo, num ensaio agronômico realizado por Duarte et. al. (2013) com três rochas fontes de potássio (olivina melilitito, sienito e granito) aplicadas a dois solos. A primeira liberou maiores quantidades de potássio nos dois solos testados, apesar da menor quantidade de K_2O no material, e não diferiu do tratamento com KCl em relação a absorção de potássio pelas plantas e na disponibilização deste elemento aos solos (Figura 4).

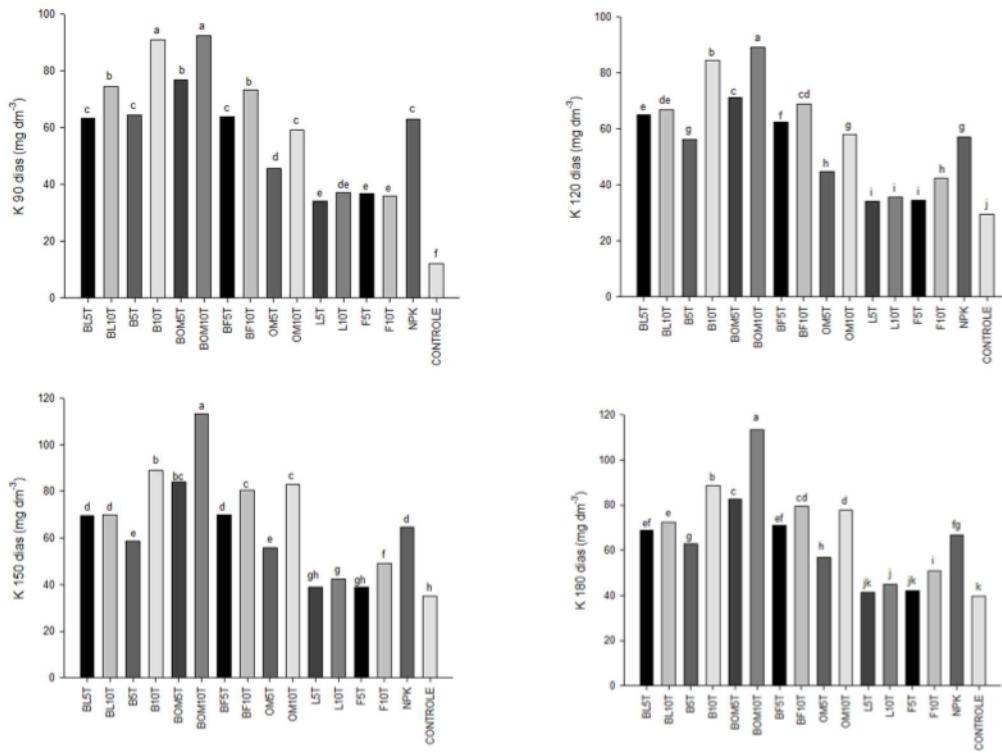


Figura 4 -Valores médios dos teores de potássio nos tratamentos avaliados nas coletas de 90, 120, 150 e 180 dias

Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, BST- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

O maior teor de sódio no solo incubado aos 90 dias foi no tratamento BL10 t ha⁻¹ (179 mg/kg), superior aos tratamentos L10 t ha⁻¹, BF5 t ha⁻¹, BOM10 t ha⁻¹, F10 t ha⁻¹, BF10 t ha⁻¹ e F5 t ha⁻¹, que foram superiores aos demais tratamentos B10 t ha⁻¹, B5 t ha⁻¹, NPK e controle.

Na coleta aos 120 dias, a liberação de sódio (Na) foi maior no tratamento BL10 t ha⁻¹ (160 mg/kg). Os teores intermediários ocorreram nos tratamentos L10 t ha⁻¹, BF10 t ha⁻¹, BF5 t ha⁻¹, F10 t ha⁻¹, F5 t ha⁻¹, BOM10 t ha⁻¹ e BL5 t ha⁻¹ e OM10 t ha⁻¹ que forma superiores aos demais tratamentos (B10 t ha⁻¹/B5 t ha⁻¹, NPK e controle).

Aos 150 dias foi observado o maior conteúdo de sódio (Na) no tratamento BF5 t ha⁻¹ (173 mg/kg), seguido de BF10 t ha⁻¹, F5T t ha⁻¹/F10 t ha⁻¹ e BL10 t ha⁻¹, que foram semelhantes entre si, e superiores em comparação com os tratamentos B5 t ha⁻¹, B10 t ha⁻¹, NPK e controle. Aos 180 dias, a liberação de Sódio (Na) foi superior nos tratamentos L10 t ha⁻¹ (193 mg/kg) e BL10 t ha⁻¹ (192 mg/kg). Os teores intermediários ocorreram em BF5 t ha⁻¹, BF10 t ha⁻¹ e F10 t

ha^{-1} , e os menores conteúdos foram nos tratamentos B5 t ha^{-1} /B10 t ha^{-1} , NPK e controle.

A rocha olivina melilitito em associação com bokashi, ou isolada foi a melhor fonte para liberação de Ca, Mg e K no solo incubado em relação dos demais tratamentos. Os efeitos nos teores de sódio (Na) foram evidenciados tanto na aplicação conjunta de pó de rocha lamprofiro e fonolito com bokashi quanto na aplicação isoladas destas rochas, foram melhores a responder na liberação deste nutriente nos solos incubados em todos os intervalos. Já foi comprovado em vários estudos a potencialidade da olivina melilitito na liberação destes nutrientes ao solo. Segundo Ribeiro (2018) que desenvolveu um estudo com objetivo de testar a solubilidade dos minerais contidos em várias rochas do Sul do Brasil, construiu curvas de solubilidade em água, ácido oxálico e ácido cítrico 0,02 mol L^{-1} por até 128 horas. A olivina melilitito foi a rocha que melhor se destacou na liberação dos nutrientes cálcio, magnésio, potássio, fósforo e vários micronutrientes, em comparação a dois basaltos, fonolito, sienito e granito.

Baseando nos resultados alcançados em alguns estudos conduzidos com o pó de rocha, pode-se concluir que em solos ácidos a adição do pó da rocha em associação com compostos orgânicos, ou uma compostagem prévia dos produtos com esses materiais, pode incrementar ainda mais a dissolução dos minerais presentes na rocha, devido à ação dos ácidos orgânicos presentes no material orgânico, que , irá atuar na desestabilização dos minerais e favorecendo a rápida disponibilidade dos nutrientes contidos nestes materiais cristalinos. Isto de certa forma fica evidenciado nos resultados obtidos no Cambissolo de Lages, através de um ensaio conduzido na casa de vegetação que possui quantidade significativa dos nutrientes no solo, ou seja, onde as quantidades de nutrientes liberados foram bem altas. (GREGORY KRUKER, 2018).

Estudos têm destacado os efeitos positivos da associação de composto orgânico com pó de rocha (rochagem) na liberação de nutrientes para a solução do solo. De acordo com Osterrocht (2003) aponta que o aproveitamento dos minerais pelas plantas é maior quando a sua aplicação é feita junto com esterco, uma vez que além de aumentar a atividade biológica do solo incrementa a disponibilidade de nutrientes no solo.

E também foi comprovado neste estudo de que, os teores de P, K, Ca e Mg apresentam incremento ao longo do tempo com aplicação de pós de rocha silicáticos e a produtividade de grãos, é aproximado ou superior ao tratamento com fertilização solúvel (THEODORO et al., 2013); as rochas de origem vulcânica tem potencial enorme no enfraquecimento da disponibilidade de elementos tóxicos e alumínio (Al), menor risco de propagação ou eutrofização de fontes de água (RAMOS et al., 2017).

Neste presente estudo constatou-se o mesmo comportamento que foi relatado nos estudos acima citados, de que os maiores valores dos nutrientes foram observados nos tratamentos de associação de pós de rocha com composto orgânico (Figura 5).

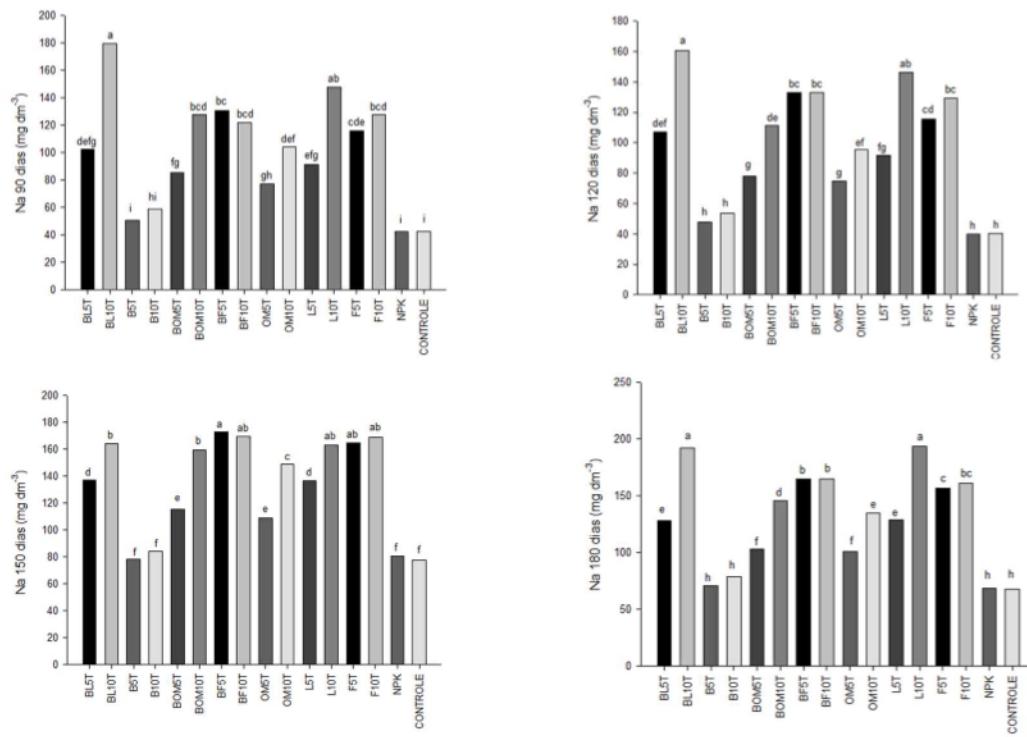


Figura 5 -Valores médios dos teores de sódio nos tratamentos avaliados nas coletas de 90, 120, 150 e 180 dias Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

Massa seca da parte aérea e das raízes do milho

A produção de matéria seca na parte aérea do milho foi superior para os tratamentos bokashi + lamprofiro 10 t ha⁻¹, bokashi 10 t ha⁻¹, bokashi + fonolito 5 t ha⁻¹ e bokashi + olivina melilitito 10 t ha⁻¹, que foram semelhantes entre si, e superiores aos demais tratamentos. Seguindo com os tratamentos BL5 t ha⁻¹, B5 t ha⁻¹ e BF5 t ha⁻¹ OM 10 t ha⁻¹ que apresentaram menores valores em relação aos tratamentos BL10 t ha⁻¹, B10 t ha⁻¹, BF5 t ha⁻¹ e BOM10 t ha⁻¹, e maiores valores em comparação com os tratamentos, BOM10 t ha⁻¹, OM5 t ha⁻¹, OM10 t ha⁻¹ e NPK que não diferiram entre si, e que tiveram maiores valores em relação ao tratamento controle, ou seja, o controle obteve o menor valor em comparação dos demais tratamentos na MSPA.

A produção de massa seca de raiz do milho foi superior nos tratamentos BF10T (15,2 g/kg), BL10 t ha⁻¹, B10 t ha⁻¹, BOM5 t ha⁻¹, BOM10 t ha⁻¹ e BF10 t ha⁻¹, que foram superiores dos demais tratamentos.

A análise de contrastes mostrou que a produção de MSPA e MSR, das plantas de milho cultivada no cambissolo, o tratamento com a rocha lamprofiro + bokashi nas doses de 10T, teve melhor resposta (15,2 g/kg) com incremento de 200% na produção de massa seca de parte aérea (MSPA) e (15 g/kg) com incremento de 181,4% na produção de massa seca raiz (MSR), foram significativamente superior ao tratamento controle.

Na comparação entre as doses mais altas (D5T x D10T), verifica-se que houve diferença significativa na produção de MSPA na planta de milho cultivada no Cambissolo, sendo verificada maior produção de MSPA e MSR na maior dose aplicada. Exceção ocorreu na produção de MSPA e MSR das plantas de milho, em que não houve diferença significativa com o aumento da dose de 5t (Figura 6).

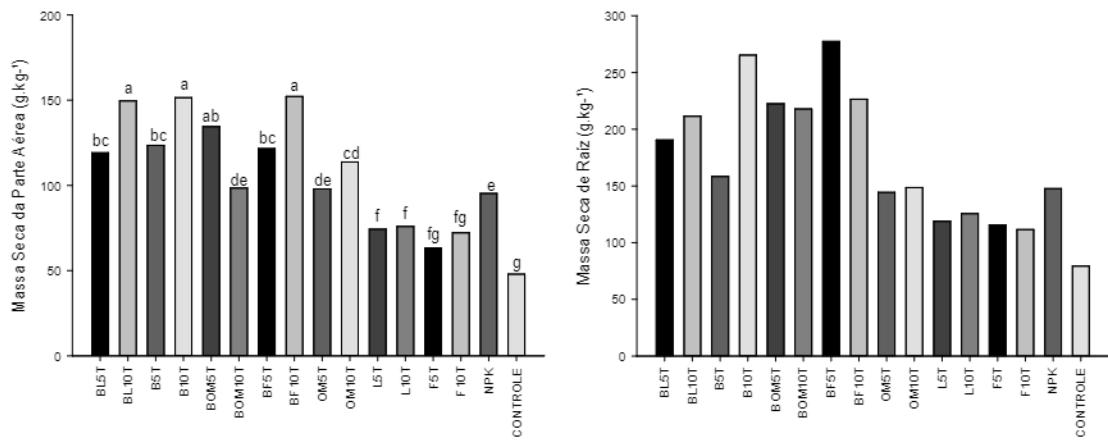


Figura 6- Matéria seca da parte aérea de planta de milho submetida à aplicação de fontes alternativa, Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10T- olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T e F10T- fonolito10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

Os maiores conteúdos de cálcio foram observados nos tratamentos OM5 t ha^{-1} ($0,17\text{g/kg}$) com incremento de 188,8% em relação ao NPK, controle, F10 t ha^{-1} e F5 t ha^{-1} , seguido de OM10 e BF10 t ha^{-1} , semelhantes entre si, mas obtiveram valores maiores em comparação com dos demais, enquanto os tratamentos F5 t ha^{-1} , F10 t ha^{-1} , NPK e controle, apresentaram valores mínimos em detimentos dos demais, e não diferem estatisticamente.

Os maiores teores de cálcio foram encontrados nos tratamentos com os pós da rocha olivina melilitito em associação com bokashi, e isolada; não houve diferença significativa dos demais tratamentos, com exceção NPK e controle que apresentaram resultados menores dos demais.

Os maiores teores de magnésio na parte aérea da planta de milho ocorreram nos tratamentos BL5 t ha^{-1} ($0,19 \text{ g/kg}$), B5 t ha^{-1} , BF10 t ha^{-1} , e BOM10 t ha^{-1} , superiores aos demais (Figura 7), enquanto os tratamentos F5 t ha^{-1} , F10 t ha^{-1} , NPK e controle, apresentaram os menores valores. No magnésio, o maior teor desse nutriente foi observado no tratamento submetido à aplicação do pó da rocha lamprofiro em associação com bokashi e similares naqueles que receberam bokashi, olivina melilitito e fonolito, menores nos de controle e NPK.

Realçando de que, esses valores foram calculados baseado em alguns trabalhos como (FERREIRA et al., 2001) os valores normais desses nutrientes

no tecido foliar do milho, de dag/kg, que equivale a porcentagem. Para g/kg, os valores são 10 vezes maiores que em porcentagem.

Os teores de potássio na parte aérea de planta de milho foram mais altos no tratamento com $BOM10\text{ ha}^{-1}$ (2,34 g/kg) com incremento de 110,8%, seguido do tratamento $OM10\text{ t ha}^{-1}$, $BOM5\text{ t ha}^{-1}$, semelhantes entre si, mas o conteúdo deste nutriente na parte aérea quando da aplicação da primeira rocha foi significativamente superior ao das demais rochas (Figura 7). Os teores de K foliares dos tratamentos com as rochas $BOM10\text{ t ha}^{-1}$, $BL10\text{ t ha}^{-1}$ e $BF10\text{ t ha}^{-1}$ são semelhantes entre si, mas foram significativamente superiores aos contidos nos tratamentos com o $L5\text{ t ha}^{-1}$ /e $L10\text{ t ha}^{-1}$.

Os conteúdos foliares de K situaram-se dentro da faixa adequada na maioria dos tratamentos, entre 15 a 30 g kg^{-1} (NAKAGAWA et al., 2009), com exceção do tratamento com o $L10\text{ t ha}^{-1}$ e $L5\text{ t ha}^{-1}$. Levando em consideração a importância do K no desenvolvimento inicial das plantas, devido à intensa atividade metabólica, necessitando desses nutrientes em quantidades adequadas para se desenvolver (ROZANE et al., 2007; GONDIM et al., 2010). Consta-se, portanto, que o pó das rochas fonolito, olivina melilitito foram capazes de solubilizar quantidades de potássio suficientes para garantir um suprimento adequado deste nutriente às plantas, pois o conteúdo do mesmo foi significativamente superior ao do $L10\text{ t ha}^{-1}$ e $L5\text{ t ha}^{-1}$. Os resultados obtidos no cultivo de milho revelam diferenças importantes na liberação do potássio.

Enquanto a rocha lamprofiro não foi capaz de liberar potássio em quantidades suficientes para garantir níveis adequados do elemento no cultivo de milho, provavelmente devido ao curto período de incubação com as rochas e da condução da cultura do milho (45 dias, aproximadamente). Como a solubilização dos minerais contidos nas rochas é lenta, torna-se importante, portanto, que as aplicações dos pós de rocha sejam feitas com maior antecedência possível, para que o efeito na liberação dos nutrientes possa refletir-se na melhoria das propriedades químicas do solo e no aumento da produtividade das culturas.

Deve ser destacado o alto potencial de liberação do potássio da rocha olivina melilitito, cuja aplicação ao solo resultou nos maiores níveis na planta dentre os tratamentos testados (Figura 7). A boa qualidade desta rocha como remineralizador de solos para nutrientes foi recentemente demonstrada em

ensaio com as culturas de soja e aveia em experimento conduzido em casa de vegetação (ALMEIDA et al., 2018).

Em relação aos teores de potássio na raiz de planta de milho foi constatado o valor mais alto no tratamento com $BOM10\text{ t ha}^{-1}$ (0,84%) com incremento de 121% com diferença significativamente superior das demais, seguido do tratamento $F5\text{ t ha}^{-1}$ e $F10\text{ t ha}^{-1}$ que apresentaram o valor significativamente inferior das demais, que foram semelhantes entre si. Os teores de K nas raízes dos tratamentos $BF10\text{ t ha}^{-1}$, $B10\text{ t ha}^{-1}$, $BOM5\text{ t ha}^{-1}$, $OM5\text{ t ha}^{-1}$, $B5\text{ t ha}^{-1}$, NPK e $BL10\text{ t ha}^{-1}$ foram semelhantes entre si, mas foram significativamente superiores aos contidos nos tratamentos com o $BL5\text{ t ha}^{-1}$, $BF5\text{ t ha}^{-1}$, controle, $L5\text{ t ha}^{-1}$, $L10\text{ t ha}^{-1}$, $F5\text{ t ha}^{-1}$ e $F10\text{ t ha}^{-1}$. (Figura 8)

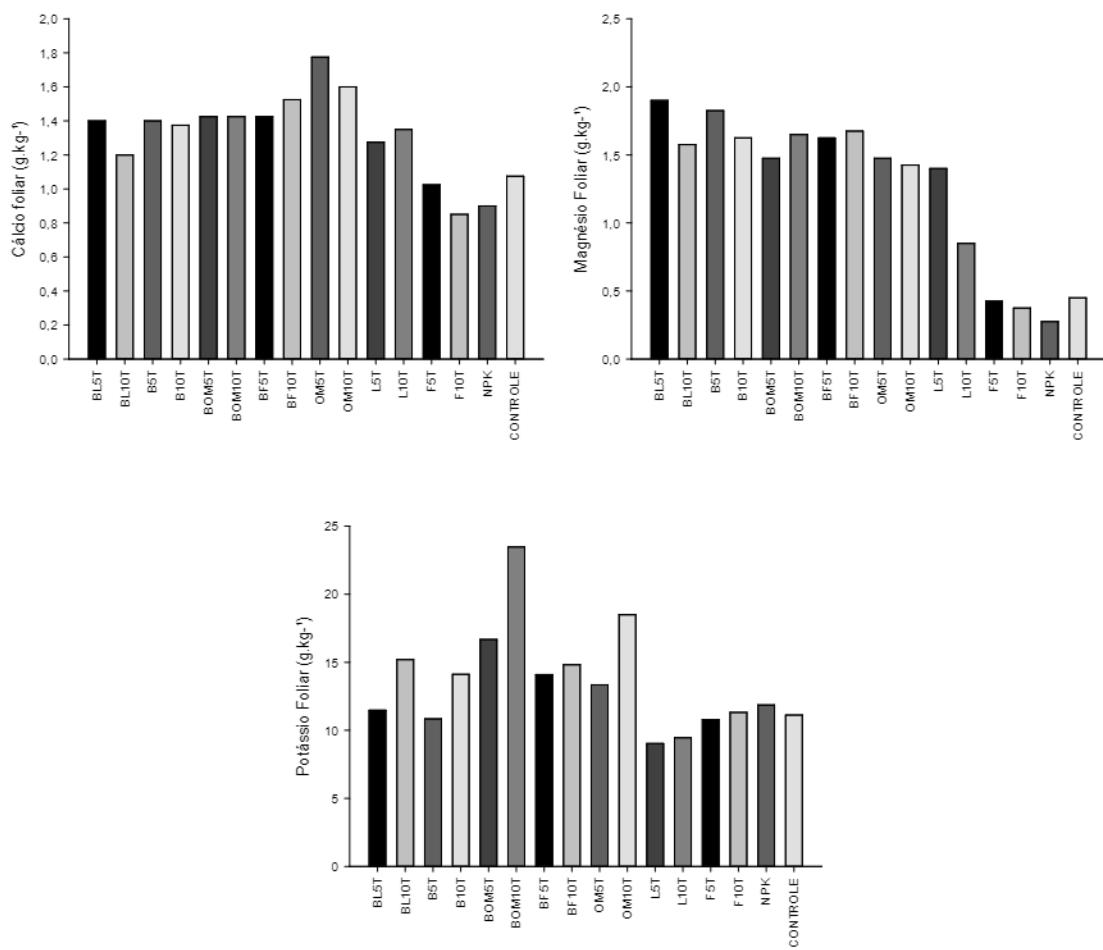


Figura 7- teores de cálcio, magnésio e potássio na parte aérea de planta de milho Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, BST- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T e F10T- fonolito 10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

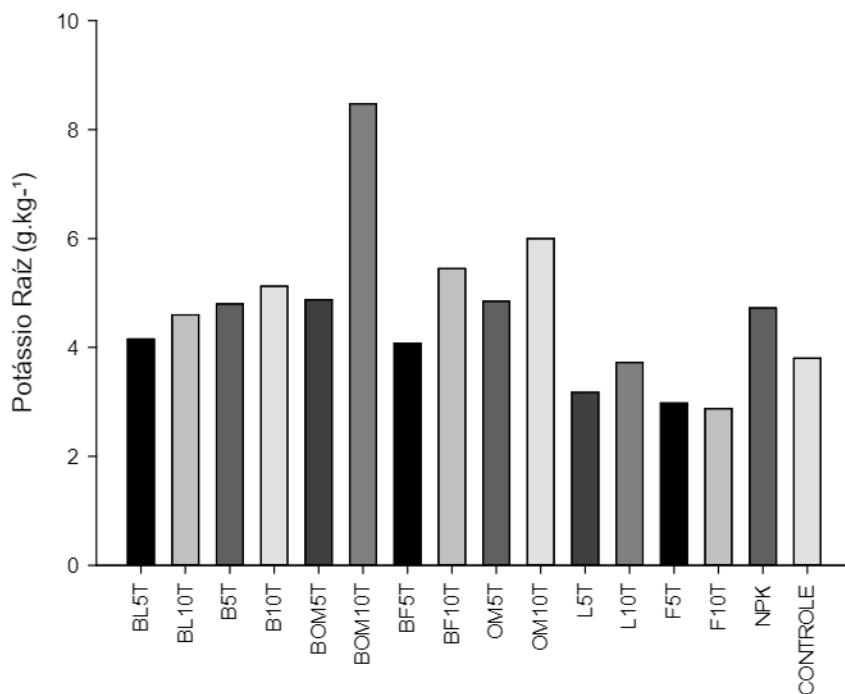


Figura 8 - potássio na raiz de planta de milho Lages, SC, 2022. BL5T- bokashi + lamprofiro 5T, BL10T- bokashi + lamprofiro 10T, B5T- bokashi 5T, B10T- bokashi 10T, BOM5T- bokashi + olivina melilitito 5T, BOM10T- bokashi + olivina melilitito 10T, BF5T- bokashi + fonolito 5T, BF10T- bokashi + fonolito 10T, OM5T- olivina melilitito 5T, OM10+ olivina melilitito 10T, L5T- lamprofiro 5T, L10T- lamprofiro 10T, F5T- fonolito 5T, F10T- fonolito 10T, NPK (recomendação de correção via rolas SFT e KCl) e controle (só solo).

Para o K, observa-se à similaridade entre os teores na parte aérea e parte de raiz (PA, PR) desse nutriente nos solos submetidos à aplicação de bokashi, lamprofiro, fonolito e NPK; menores teores nos tratamentos controle, e maiores naqueles onde foram aplicados a olivina melilitito. Vale salientar que nos tratamentos controle os teores desse nutriente foram menores do que dos demais tratamentos atribuídos aos fatores de condução do experimento, ou seja, as plantas foram desenvolvidas em um Cambissolo Háplico com baixíssimos teores de nutrientes o que proporcionou somente que uma planta chegasse aos 45 dias, na colheita do experimento e sendo assim, a representatividade desta amostra é muito baixa.

Cabe salientar que, no geral, foram encontrados maiores teores de Mg (seguido pelos de K) na PA dessa planta em todos os tratamentos em relação aos demais nutrientes avaliados, sendo que maior desempenho dessas rochas foram constatados nos tratamentos com olivina melilitito isolado e associado com

bokashi, tanto na dose de 5 t ha⁻¹ quanto de 10 t ha⁻¹. A ação dos compostos orgânicos pode aumentar a dissolução dos minerais pela liberação de íons H⁺ e de compostos orgânicos complexantes, que contribuem para acelerar as reações nas superfícies dos minerais. De acordo com um estudo conduzido na China verificou-se que o pó de rocha é capaz de melhorar características de composto animal, fornecendo múltiplos elementos nutricionais, como Ca, K, Zn e Mg (LI, MAVRODI, DONG, 2021).

Hu & Qi (2012), testaram o efeito dos microrganismos eficientes (EM) associado com composto orgânico sobre a cultura do trigo, com aumento da produção de biomassa e do rendimento de grãos. Ainda, os autores mostraram que, a adubação orgânica possibilitou o aumento da matéria orgânica do solo, fertilidade e melhoria da fauna microbiana. Em um estudo conduzido com salsinha (*Petroselinum crispum* [Mill.] Fuss. var. Crispum), foi observado acréscimo na matéria seca e no índice de clorofila com o uso de bokashi e pós de rochas em associação (MAASS, CÁRDENAS, CÉSPEDES, 2020).

É importante ressaltar que, a observação feita no desempenho dos tratamentos com olivina melilitito isolado e associado com bokashi tanto na dose de 5 t ha⁻¹ quanto de 10 t ha⁻¹, na liberação de cálcio, potássio, magnésio nos solos incubados, foi o que obteve a maior resposta em comparação aos demais. Já o NPK e controle foram os que responderam menos em todos os itens avaliados durante a incubação. Este desempenho da olivina melilitito isolada e associada com bokashi, tanto na dose de 5 t ha⁻¹, quanto de 10 t ha⁻¹, na liberação de cálcio, potássio, magnésio foi constatada o semelhante na parte aérea e na raiz de planta do milho.

Baseando neste estudo, e nos demais estudos referenciados, fica claro que, a mistura proveniente de composto orgânico com pó de rocha pode ser benéfica para o cultivo de grãos e na recomposição dos nutrientes no solo no ponto de vista agronômica, pois aumenta a eficiência do uso de nutrientes por ativar enzimas que estimulam a absorção e a quelação de alguns elementos (SANTOS et al., 2015a).

As utilizações de minerais de silicato é uma técnica viável para agricultura, principalmente para solos com condições de baixa fertilidade. Apesar de ser um material de lenta solubilidade, ou seja, apresenta uma característica de pouca possibilidade de atender as necessidades nutricionais as plantas num período

de curto prazo de tempo, tendo em conta a sua liberação de forma gradual. Sendo que a liberação de nutriente no solo e pela as plantas a partir de minerais, é influenciada por fatores naturais ou seja, intemperismo. E não são tão eficientes quanto os fertilizantes comerciais no que diz respeito a liberação de nutrientes num curto prazo de tempo.

Por isso, que foram desenvolvidos vários estudos, inclusivo este, com propósito de encontrar alternativa que de certa maneira possa intervir ou acelerar a desestruturação desses minerais para que possam liberar de forma rápida e eficiente os nutrientes nos solos. Entre alternativas encontrados, uma delas é biointervenção, ou seja, associação destas rochas com compostos orgânico, que irá influenciar através das ações direto dos microrganismos que são capazes de solubilizar as formas indisponíveis de nutrientes de minerais, através de ácidos orgânicos que dissolvem diretamente a rocha ou quelam os íons de silício para trazer os nutrientes à solução. Entretanto, a comutação biológica ou biointervenção (intervenção microbiana e compostagem) pode vir a ser um meio relevante e eficaz de mobilizar nutriente dos minerais portadores de K para a nutrição das plantas. Essas técnicas, de biointervenção sustentam menos chances de poluição e consomem menos energia para melhorar a assimilação de nutrientes disponível pelas plantas (BASAK et al., 2017).

No entanto, este estudo foi conduzido justamente com o mesmo propósito de testar a intervenção de composto orgânico bokashi na aceleração destas três rochas avaliadas lamprofiro, olivina melilitito e fonolito para liberação dos nutrientes aos solos num prazo de 180 dias, e nas plantas de milho no prazo de 45 dias.

As substâncias presentes nesse composto orgânico bokashi fornece moléculas orgânicas promotoras do crescimento vegetal (CALDEIRA et al., 2011). Além de possuírem um melhor custo-benefício do que a utilização de fertilizantes solúveis para complementar a nutrição (ZANDONADI et al., 2014).

Segundo estudo realizado por Soares et al., (2009) com a produção de mudas de repolho, avaliou o desempenho de quatro substratos alternativos, compostos por diferentes teores de pó de rocha e composto orgânico, comparando-os ao desempenho de um substrato comercial. Os autores concluíram que o tratamento que utilizou 100% de composto orgânico forneceu melhores condições para o desenvolvimento das mudas de repolho, e os

tratamentos compostos por substratos alternativos apresentaram resultados superiores quando comparado ao substrato comercial.

No entanto é conveniente expressar que aplicação dos pós da rocha estudada torna-se, portanto, uma alternativa interessante para o aumento da fertilidade dos solos, tendo apresentado efeitos positivos na liberação de nutrientes na área foliar das plantas. A rocha olivina melilitito destaca-se em relação a outras que vem sendo utilizadas com a mesma finalidade, por apresentar teores muito mais altos de cálcio, magnésio, teores expressivos de potássio e micronutrientes.

CONCLUSÃO

O ensaio conduzido em casa de vegetação com aplicação das rochas olivina melilitito, lamprofiro e fonolito em associação com composto orgânico tipo bokashi nos solos incubados, foi constatado a maior eficiência na liberação de nutrientes no solo com os pós da rocha olivina melilitito em associação com bokashi, demonstrou a maior eficiência na liberação dos nutrientes nos solos incubados em todos os intervalos avaliados em comparação das demais rochas.

A aplicação do pó da rocha estudado, resultou em melhoria substancial nas propriedades químicas do solo, com aumentos no pH, nos conteúdos de cálcio, magnésio, potássio e sódio, reduziu os teores de Al trocável e a acidez potencial, bem como proporcionou aumentos significativos no solo, e consequentemente favoreceu aumentos significativos, na área foliar do milho, assim como na produção de massa seca de parte aérea e de raiz de quando comparados à testemunha.

O tratamento utilizando olivina melilitito apresentou incremento de 188,8% no conteúdo de cálcio, na parte aérea de plantas de milho em relação dos demais tratamentos.

O tratamento utilizando a rocha lamprofiro em associação com bokashi (dose de 5t ha⁻¹) apresentou o maior teor de magnésio na parte aérea de plantas de milho (0,19%) com incremento de 375% em relação dos demais tratamentos.

Os tratamentos com rocha olivina melilitito em associação com bokashi na dose de 10t (2,34%), apresentou o maior teor de K, incrementando em média 110,8%, a mesma rocha apresentou o maior teor de potássio na massa seca de raiz das plantas de milho em relação aos demais tratamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A melhoria nos atributos químicos do solo pela aplicação de pós de rocha com composto orgânico, e com aumento do pH em água, da disponibilidade de Ca, Mg, e K, da soma e saturação por bases, concomitante com a redução nos teores de alumínio, da acidez potencial e da saturação por esse elemento. Uma vez melhorando a química do solo, ou seja, aumentando a disponibilidade dos nutrientes em solução, favorece a absorção e, consequentemente, maior acúmulo dos mesmos nos tecidos vegetais das plantas de milho. Como consequência, aumentou tanto a produção de matéria seca (MSPA e MSR). Esse comportamento evidencia que o pó da referida rocha é altamente recomendado tanto para a melhoria como para a reconstrução da fertilidade dos solos, com reflexos positivos na produtividade das plantas.

O ensaio conduzido na casa de vegetação, com a aplicação do pó da rocha estudada, resultou em melhoria substancial nas propriedades químicas dos solos, com aumentos no pH, nos conteúdos de cálcio, magnésio e potássio, bem como proporcionou aumentos significativos na produção de massa seca de parte aérea e de raiz de planta de milho, quando comparados à testemunha. A aplicação do pó da rocha resultou no aumento no acúmulo dos nutrientes no tecido vegetal das plantas de milho cultivadas no Cambissolo. A dose de 10t do pó de rocha incrementou o acúmulo dos nutrientes avaliados no tecido vegetal das referidas plantas, com adequada eficiência na liberação dos nutrientes no solo incubado assim como para as plantas de milho cultivados nos vasos, permitindo enquadrar o produto na categoria remineralizador de solos.

REFERÊNCIAS

ABIMILHO – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DO MILHO. Estatísticas. Disponível em: <http://www.abimilho.com.br/estatisticas>. Acesso em: 15 de Mar 2022.

Agencia Brasil – 2011. Disponível em: http://www.em.com.br/app/noticia/economia/2011/06/28/internas_economia,236656/agricultores-brasileiros-compraram-8-56-mi-de-toneladas-de-fertilizantes-de-janeiro-a-maio.shtml. Acesso: 29 de abril de 2022.

ALATTAR, M.A. Biological treatment of leachates of microaerobic fermentation. Thesis. Portland State University, 2012.

ALMEIDA, J. A., MAFRA, A. L., CUNHA, G. O. M., HEBERLE, D. A. ensaio de eficiência agronômica da rocha olivina melilitito como remineralizador de solos para uso na agricultura. fundação instituto de apoio ao ensino, pesquisa e extensão do centro de ciências agroveterinárias* fiepe – cav. 23, p., 2018.

ALMEIDA, J. A. Composição mineralógica da fração argila. In: EMBRAPA (org). **VI Reunião de Correlação, Classificação e Aplicação de Levantamentos de Solo RS/SC/PR.** Porto Alegre, p. 124-148. 2000.

ALTIERI, M. A.; NICHOLLS, C. I.; HENAO, A.; LANA, M. A. Agroecologyandthe design ofclimatechange-resilientfarming systems. Agron. Sustain. Dev. v. 35, p. 869-890, 2015.

ALTIERI, M.A. Agroecology: The Science of Sustainable Agriculture. Boca Raton: **CRC Press.** 2^a Ed. 448 p., 2018.

(ANDA) Associação Nacional para a Difusão de Adubos. Mercado de fertilizantes 2012/2016. In: **Principais indicadores do setor de fertilizantes: estatísticas.** Disponível em: <http://anda.org.br/index.php?mpg=03.00.00&ver=por>. Acesso em: 29 de abril 2022.

ANDRADE, L. R. M.; MARTINS, E. S.; MENDES, I. C. Avaliação de uma rocha ígnea como corretivo de acidez e disponibilização de nutrientes para as plantas. Planaltina: EMBRAPA (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 57) 19p. 2002.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA A DIFUSÃO DE ADUBOS. Mercado de fertilizantes 2012/2016. In: **Principais indicadores do setor de fertilizantes: estatísticas**. Disponível em: <http://anda.org.br/index.phpmpg=03.00.00&ver=por>. Acesso em: 08 de maio 2018.

BAERE, B. D., FRANÇOIS, R., MAYER, K. U. Measuring mineral dissolution kinetics using on-line flow-through time resolved analysis (FT-TRA): an exploratory study with forsterite. *Chemical Geology*, 413, 107-118. doi: 10.1016/j.chemgeo.2015.08.024. 2000.

BALLAND, C., POSZWA, A., LEYVAL, C., & MUSTIN, C. Dissolution rates of phyllosilicates as a function of bacterial metabolic diversity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74(19), 5478-5493. doi:10.1016/j.gca.2010.06.022. 2010.

BALIGAR, V. C., FAGERIA, N. K. and He, Z. L. Nutrient use efficiency in plants. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 32: 7, 921 - 950, 2001. BARETTA, D.; SANTOS, J.C.P.; FIGUEIREDO, S.R.; KLAUBERG-FILHO, O. Efeito do monocultivo de pinus e da queima do campo nativo em atributos biológicos do solo no Planalto Sul Catarinense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.715-729, 2005.

BAROS J. F. C. & CALADO J. G. A cultura do milho. Escola de Ciências e Tecnologia, Departamento de Fitotecnia, Évora, n. 4 p. 2014.

BARKER, W.W. AND J.F. BANFIELD. Zones of Chemical and physical interaction at interfaces between microbial communities and minerals. *Geomicrobiology*. J., 15; 223- 244. 1998.

BASAK, B.B.; SARKAR, B.; BISWAS, D.R.; SARKAR, S.; SANDERSON, P.; NAIDU, R. Bio-Intervention of Naturally Occurring Silicate Minerals for Alternative Source of Potassium: Challenges and Opportunities. Elsevier, *Advances in Agronomy*, Volume 141, ISSN 0065-2113. 31 p. 2017.

BENNETT, P.C., CHOI, W.J., ROGERA, J.R. Microbial destruction of feldspars. *Miner. Manag.* 8, 149–150. 1998.

BISWAS, D.R., BASAK, B.B. Potassium solubilizing microorganisms; their mechanisms, potentialities and challenges as potassium biofertilizer. **Indian J. Fert.** 9, 102–116.2013.

BISWAS, D.R., BASAK, B.B. Mobilization of potassium from waste mica by potassium solubilizing bacteria (*Bacillus mucilaginosus*) as influenced by temperature and incubation period under in-vitro laboratory condition. **Agrochimica**38, 309–320. 2014.

BOLLAND, M.D.A., BAKER, M.J. Powdered granite is not an effective fertilizer for clover and wheat in sandy soils from Western Australia. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 56, 5968. 2000.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Instrução Normativa nº 46 de 06 de outubro de 2011. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 07 outubro 2011. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 mar. 2022.

BRASIL. **Lei n. 12.890, 10 dez. 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, 10 dez 2013. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 27 mar. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.

Instrução Normativa nº 05 de 10 de março de 2016. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 14 mar.2016. Disponível em: <http://www.in.gov.br/autenticidade.html>. Acesso em 23 mar. 2022.

BRANDÃO, J.A.V. Pó de rocha como fonte de nutrientes no contexto de agroecologia. Dissertação (Mestre – UFSCar), Araras, 83p., 2012.

BRINDLEY, G. W.; BROWN, G. Cristal structures of clay minerals and their X ray identification. **London: Mineralogical Society.** 495p. 1980.

CAIRES, E. F.; BARTH, G.; GARBUIO, F. J.; CHURKA, S. Soil acidity and soybean performance under no-till. *Scientia Agricola*, v.65, n.5, p.532-540, 2008.

CALVARUSO, C.; TURPAULT, M.P.; FREY-KLETT, P. Root-associated bacteria contribute to mineral weathering and to mineral nutrition in trees: a budgeting analysis. *Applied and Environmental Microbiology*, 72:1258-1266. 2006.

CARVALHO, A.M.X. Rochagem e suas interações no ambiente solo: contribuições para aplicação em agroecossistemas sob manejo agroecológico. Tese (Doctor Scientiae – UFV), Minas Gerais, 116p., 2012.

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

COLA Geovana Poton Arcobeli; SIMÃO, João Batista Pavesi. Rochagem como forma alternativa de suplementação de potássio na agricultura agroecológica. *Revista Verde*, Mossoró, v.7, n. 1, p.01-08, 2012.

CONAB-COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Boletim de Monitoramento Agrícola, v. 10, n. 12, dez. 2021. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 14 de abr. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021. 7º. Levantamento. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br/>. Acesso em: 25 de abr. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Perspectivas para agropecuárias. safra 2019/2020. Disponível também em: <http://www.conab.gov.br>. Impresso no Brasil ISSN: 2318-3241. Acesso em: 15 de Mar. 2022.

CONAB - COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira de grãos 2020/2021. 9º. Levantamento. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>. Acesso em: 15 de Mar. 2022

CONAB - Séries históricas. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/serie-historica-dassafrasstart=20>. Acesso em: Mar. 2022b.

COSTA, M. B. B. da. Agroecologia no Brasil: histórias, princípios e práticas. São Paulo: Expressão Popular, 2017. 144p.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (2020). Serviço Geológico do Brasil - CPRM e os ODS, Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: agrogeologia.

CHAVES, A. G.; HEINECK, C. A.; TAVARES, E W. P. Projeto Cedro do Abaeté. Belo Horizonte: Convênio DNPM/CPRM, 96 p., 1971.

CHESWORTH, W.; VAN STRAATEN, P.; SEMOKA, J. M. R. Agroecology in East África: the Tanzania-Canada Project. *Journal of African Earth Sciences*, v. 9, n. 2, p. 357-362, dez. 1989.

CQFS-RS/SC – Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC. Manual de calagem e adubação para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 11^a ed. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. [s.l.]. 2016. 376p.

CUNHA, G. O. M. Ensaio de eficiência agronômica da rocha olivina melilitito como remineralizador de solos para uso na agricultura. Cav/Udesc, 2018. 30p.

CURI, N.; KÄMPF, N. & MARQUES, J.J. Mineralogia e formas de potássio em solos do Brasil. In: YAMADA, T. & ROBERTS, T.L., eds. Potássio na agricultura brasileira. Piracicaba, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p.71-92.

DAUD, N.M.; KHALID, S.A.; NAWAWI, W.N.W.; RAMLI, N. Producing fertilizer from food waste recycling using Berkeley and bokashi method. Ponte, 72., 2016.

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.

EMBRAPA. Solos do Estado de Santa Catarina. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2004.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Nutrição e Adubação do Milho, Embrapa- ISSN 1679-1150, 10 p. 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA [EMBRAPA]. Marco referencial em agroecologia. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2006.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Fabricação de composto anaeróbico de farelos (Bokashi sólido), Embrapa Hortaliça, 2007.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Cultivo de milho, Embrapa- ISSN 1679-012X Versão Eletrônica - 6 ª edição, 2010.

EMBRAPA. Visão 2030: O futuro da agricultura brasileira. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 212p.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Milho - Caracterização e Desafios Tecnológicos, Embrapa Milho, 08 p. 2019.

ENDRIANI. A. The Effect of bokashi residue of stable manure (cow's droppings) on physical properties of Ultisol soil and yield of the plants... **Collection of National Seminar Papers on Results of Specific Technology Review and Research**, Jambi. p 139- 143, 2003.

ERNANI, Paulo Roberto et al. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 393-401, 2007.

ERNANI, P. R. **Química do Solo e Disponibilidade de Nutrientes**. Santa Catarina: Lages, O autor, 2016. 254p.

FAO, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Elaboración y uso del Bocashi, San Salvador, 16p., 2011b.

FARIAS, P. I. V.; FREIRE, E.; CUNHA, A. L. C. da; GRUMBACH, J. S.; ANTUNES, A. M. S. The Fertilizer Industry in Brazil and the Assurance of Inputs for Biofuels Production: Prospective Scenarios after COVID-19, **Sustainability**, v. 12, n. 8889, 2020.

FERRARI, A. M.; ERLER, G.; ASSAD, M. L. R. C. L.; TOSTA, C. D. e CECCATOANTONINI, S. R. Biodisponibilização de potássio proveniente de pó

de rochas silicáticas. In: Congresso de Iniciação Científica da UFSCar, 13, São Carlos. Anais. São Carlos: UFSCar. 2005a.

FERREIRA, E. R. N. C. Química e mineralogia de solos desenvolvidos de rochas alcalinas e ultrabásicas do domo de Lages, SC. Tese (Doutorado em Manejo do Solo), 2013.

FERREIRA, E. R. N. C.; ALMEIDA, J. A; MAFRA, A. L. Pó de basalto, desenvolvimento e nutrição do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*) e propriedades químicas de um Cambissolo Húmico. Revista de Ciências Agroveterinárias, v.8, n.2, p. 111-121, 2009.

FERREIRA, A. C. B.; ARAUJO, G. A. A; PEREIRA, P. R. G; CARDOSO, A. A. características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco, Depto. de Fitotecnia - UFV - Viçosa, MG, v. 58, n.1, p. 135, 2001.

FONTES, M.P.F. I. Intemperismo de Rochas e Minerais. In: KER, J.C.; CURI, N.; SCHAEFER, R.G.R.; TORRADO, P.V.; orgs. Pedologia Fundamentos. Minas Gerais, Soc. Bras. Ci. Solo, p. 171-206, 2012.

FYFE, W.S, KRONBERG, B.I, LEONARDOS, O.H AND OLORUFEMI, N. Global tectonics and agriculture: a geochemical perspective. *AgrEcosystEnv* 9: 383–399. 1983.

GHEDIN, Evandro; DE OLIVEIRA, Elisangela S.; DE ALMEIDA, Washington A. **Estágio com pesquisa**. Cortez Editora, 2018.

GILLMAN, G.P., BUEKKETT, D.C.; COVENTRY, R.J. A laboratory study of application of basalt dust to highly Weathered soils: effect sion soil cátion chemistry. *Australian Journal of Soil Research*, Montpellier, v.39, p. 799-811, 2001.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science* 327, 810–818. 2010.

GOLDICH, S. S. A study in rock weathering. *The Journal of Geology*, 46(1), 1758. 1938.

GUELFI-SILVA, D.R.; SPEHAR, C.R.; MARCHI, G.; SOARES, D.A.S.; CANCELLIER, E.L.; MARTINS, E.S. Yield, nutrient uptake and potassium use

efficiency in rice fertilized with crushed rocks. **Academic Journals**, v. 9, p. 455-464, 2014.

GUIMARÃES, D. **Geologia do Brasil**. Rio de Janeiro, 674p. 1964. 10.

GUIMARÃES, D. **Ocorrências de fosforita no município de Abaeté**. Notas preliminares e estudos, n.144. DNPM-DGM, Rio de Janeiro, 18p,1967.

GUIMARÃES, D. & DUTRA, C. V. **Contribuição ao estudo da Série Bambuí**. Bol. DNPM n.234. DNPM, 1969.

HARLEY, A. D.; GILKES, R. J. factors influencing the release of plant nutrient elements from silicate rock powders: a geochemical overview. Nutrient cycling in Agroecosystems, 56: 11-36, 2000.

HERENCIA, J.; MAQUEDA, C. Effects of time and dose of organic fertilizers on soil fertility, nutrient content and yield of vegetables. **The Journal of Agricultural Science**. -1. 1-19., 2016.

HINSINGER, P.; BARROS, O. N. F.; BENEDETTI, M. F.; NOACK, Y.; CALLOT, G. plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. Gochimica et cosmochimica Acta, 65: 137-152, 2001.

HOYOS, C. et al. Growth stimulation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) by Trichoderma. **Biological Control**, v. 51, p. 409-416, 2009.

HUANG, W.H.; KIANG, W.C. Laboratory dissolution of plagioclase feldspars in water and organic acids at room temperature. Am. Mineralogist 57: 1849-1859, 1972.

IBA - INSTITUTO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA. 8 Benefícios da adubação orgânica: adubo orgânico sim..., mas com ciência! E-book: IBA, 2020. 31p.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Embrapa Solos: Rio de Janeiro, 2009. 154p.

Instituto Brasil Orgânico (2021). *Remineralizadores - Mapa de pós de rocha registrados no Ministério da Agricultura disponíveis no Brasil*. Disponível online:

<https://institutobrasilorganico.org/atuacao/mapa-de-remineralizadores/>. Acesso em: jan. 2023.

ISHIMURA, I.; YAMAMOTO, S. M.; SANTOS, C.; OLIVEIRA, M. A. Olericultura orgânica: compostagem. São Paulo: SENAR/SP, 2006. 4p.

JACKSON, M. L. Soil Chemical Analysis. 2 ed. Madison: Department of Soil Science- University of Wisconsin. Advanced Course, 1965. 991p. (Mimeoografado).

KARIMUNA, L.; RAHNI, N.M.; BOER. D. The use of bokashi to enhance agricultural productivity of marginal soils in Southeast Sulawesi, Indonesia. J Trop. Crop. Sci. 3: 1 6., 2016.

KÄMPF, N.; CURI, N.; MARQUES, J.J. Intemperismo e ocorrência de minerais no ambiente do solo. In: MELLO, V.F; ALLEONI, L.R.F (Ed.). Química e mineralogia do solo: Conceitos básicos. Viçosa, MG: SBSC, 2009. v.1, p 333-379.

KHATOUNIAN, C. A. A reconstrução ecológica da agricultura. **Botucatu: Agroecológica**, 2001.

KNAPIK, J. G.; ANGELO, A. C. PÓ DE BASALTO E ESTERCO EQÜINO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE *Prunus sellowii* KOEHNE (ROSACEAE). Curitiba, PR, v. 37, n. 3, set./dez. 2007.

KOPANSKI, C., VILELA, J., KURCHAITD, L., TORRE, A. y SUEK, D. Produtividade do morangueiro em função da adubação orgânica e com pó de basalto no plantio. Semina: Ciências Agrárias, vol. 33, núm. 1, 2012, pp. 2985-2993.

KRUKER, G.adubação com pó de rocha e plantas de cobertura em sucessão soja (*glycine max*) e trigo (*triticum aestivum*). Dissertação. Cav/Udesc. 2019. 34p.

KUDLA, A. P.; MOTTA, A. C. V.; KUDLA, M. E. Efeito do pó de basalto aplicado em um Cambissolo Álico sobre o solo e crescimento do trigo. Revista do Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, v. 15, n. 2, p.187-195, 1996.

KUWAHARA, Y. In situ observations of muscovite dissolution under alkaline conditions at 25-50°C by AFM with a nair fluid heater system. **American Mineralogist**, 93(7), 1028- 1033.doi: 10.2138/am.2008.2688 1028. 2008.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; MELAMED, R. FIGUEIREDO NETO, J. Fertilizantes agroindústria & sustentabilidade. CETEM, Rio de Janeiro, 2008.

LAPIDO-LOUREIRO, F. E. V.; RIBEIRO, R. C. C. Fertilização natural: rochagem, agricultura orgânica e plantio direto: breve síntese conceitual. In: LAPIDO-LOUREIRO, F. E.; MELAMED, R.; FIGUEIREDO NETO, J. (Ed.). Fertilizantes: Agroindústria e sustentabilidade. Rio de Janeiro: CETEM/Petrobrás. p. 149-172, 2009.

LASAGA, A. C., SOLER, J. M., GANOR, J., BURCH, T. E., NAGY, K. L. Chemical weathering rate law sand global geochemical cycles. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(10), 2361-2386. doi: 10.1016/0016-7037(94)90016-7. 1994.

LEONARDOS, O.H.; THEODORO, S.H. & ASSAD, M.L. Remineralization for sustainable agriculture: A tropical perspective from a Brazilian view point. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, v.56, p. 3-9, 2000.

LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S.; KRONBERG, B.I. The use of ground rocks in laterite systems: an improvement to the use of conventional soluble fertilizers? *Chemical Geology*, v. 60, p.361-370, 1987.

LOPES, E. L. N.; FERNANDES, A. R.; TEIXEIRA, R. A.; SOUSA, E. S.; RUIVO, M. L. P. Soil attributes under diferente crop management systems in na Amazonian Oxisols. *Bragantia*, v. 74, n. 4, p. 428-435, out./dez. 2015.

LI, J., MAVRODI, D. V., & DONG, Y. (2021). Effect of rock dust-amended compost on the soil properties, soil microbial activity, and fruit production in na apple or chard from the Jiangsu province of China. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 67(10), 1313-1326.

LIMA, C. C.; MENDOÇA, E. S.; SILVA, I. R.; SILVA, L. H. M.; ROIG, A. Caraterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiente, 13: 334-340, 2009.

LIMA, F. S.; STAMFORD, N. P.; SOUSA, C. S.; LIRA JUNIOR, M. A.; MALHEIROS, S. M. M.; VAN STRAATEN, P. Earthworm compoundand rock biofertilizeren riced in nitrogem by inoculation with free living diazotrophic bactéria. World jornal of Microbiol Biotechnology, 26: 1769-1775, 2010.

LOPES-ASSAD, M. L.; ROSA, M. M.; ERLER, G.; CECATO-ANTONINI, S. R. Solubilização de pó-de-rocha por *Aspergillusniger*. Espaço e Geografia, v. 09, n. 01, p. 1-17, 2006.

LOURENÇO-JR., B.A. Desenvolvimento de Laranjeira 'Pêra' *Citrus sinensis* (L.) Osbeck Enxertada em Limoeiro 'Cravo' (*Citrus limonia*) e Cultivada com Pó de Basalto. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biociências, Campus de Botucatu, UNESP, 87 pp, 2011.

LOPES-ASSAD, M. L.; AVANSINI, S.H.; ROSA, M. M.; CARVALHO, J. R. P.; CECCATO-ANTONNI, S. R. The solubilization of potassium-bearing roch power by *Aspergillus niger* in small-scale batch fermentations. **Canadian jornal of Microbiology**, 56: 598-605, 2010.

LOPES, L. C.; SANTOS, C. G.; TRINDADE, A. V.; PEIXOTO, M. F.; AZI, J. R. e MAIA, I. C. S. Efeito da associação micorrízica na resposta do mamoeiro (*Carica papaya* L.) ao potássio. In: Congresso Brasileiro de Fruticultura. Fortaleza, Anais. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical.2000.

MAASS, V., CÉSPEDES, C., & CÁRDENAS, C. (2020). Effect of Bokashi improved with rock phosphate on parsley cultivation under organic greenhouse management. Chilean Journal of Agricultural Research, 80, 444-451. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S071858392020000300444&script=sci_arttex

MACHADO, R. V.; ANDRADE, F. V.; RIBEIRO, R.C.; RODRIGUES, R. R. Rejeitos de Rochas Ornamentais como Corretivo Alternativo e a Produção de Matéria Seca e Teores de Ca e Mg na Planta e no Solo. In: Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa, XXIII, 2009, Gramado, Anais, Porto Alegre, UFRGS, 2009.

MACHADO, R.V. *et al.* Characterization of ornamental rock residue and potassium liberation via organic acid application. **Rev. Bras. Ciência do Solo** 40, 1-13., 2016.

MANNING, D. A. C.; BAPTISTA, J. Microbial Interactions with feldspars – A catalyst for nutrient release. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE ROCHAGEM. 3., 2017, Pelotas. Anais... Pelotas: EMBRAPA, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1354346/26325871/Livro+Congresso+de+rochagem+For mato+Web.pdf/29be78a9-dd7a-8050-5b31-2b02c583589e>. Acessado em 03/09. 2022.

MARTINS, E.S. et al. Rochas Silicáticas como Fontes Minerais Alternativas de Potássio para a Agricultura. In: LUZ, A.B.; LINS, F.F. (ed). Rochas e Minerais Industriais: usos e especificações. 2., Rio de Janeiro: Ed. CETEM-MCTI, 2008. p. 205 221.

MARTINS, E.S.; OLIVEIRA, C.G.; RESENDE, A.V.; MATOS, M.S.F.M. Agrominerais – Rochas silicáticas como fontes minerais alternativas de potássio para a agricultura. **CETEM**, cap.9, 2^a edição, 2008.

MARTINS, B. H.; ARAUJO-JUNIOR, C. F.; MIYAZAWA, M.; VIEIRA, K. M.; MILORI, M. B. P. Soil organic matter quality and weed diversity in coffee plantation area submitted to weed control and cover crops management. *Soil and Tillage Research*, v. 153, p. 169-174, nov. 2015.

MARTINS, E. S. Uso potencial de rochas regionais como fontes de nutrientes e condicionador do solo. Jataí: EMBRAPA Cerrados, 2010. Disponível em: Acesso em: 03 set. 2022. Mecanica das Rochas/ por manual Rocha. -lisboa: LNEC, 1981.

MEIRA, F. A.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; ANDRADE, J. A. C. Fontes e épocas de aplicação do nitrogênio na cultura do milho irrigado. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 30, n. 2, p. 275-284, 2009.

MELAMED, R; GASPAR, J. C. & MIEKELEY, N. Pó-de-rocha como fertilizante alternativo para sistemas de produção sustentáveis em solo tropicais. CETEM/MCT, Série Estudos e Documentos - SED-72 (Versão provisória), 26p., 2007.

MELLO, J. W. V., & PEREZ, D. V. Equilíbrio químico das reações no solo In V. F., Melo, & L. R. F., Alleoni (Eds.), Química e mineralogia dos solos (p. 151-249). Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 2009.

MENDOZA, H. N. Efeitos de sistemas de colheita dos canaviais sobre propriedades químicas e biológicas em solos de Tabuleiro no Espírito Santo. Rio de Janeiro. Dissertação. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 113p. 1996.

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

MIKHAILOUSKAYA, N., TCHERNYSH, A., 2005. K-Mobilizing bacteria and the effect on wheat yield. Latv. J. Agron. 8, 154–157.

MOHAMMED, S.M.O., BRANDT, K., GRAY, N.D., WHITE, M.L., MANNING, D.A.C. Comparison of silicate minerals as sources of potassium for plant nutrition in sandy soil. **Eur. J. Soil Sci.** 65, 653–662. 2014.

MUNIZ, D. H. F. et al. Teores de metais no solo e absorção pelo milheto decorrentes da utilização de rochas moídas como fontes de potássio. In: ENCONTRO DE JOVENS TALENTOS DA EMBRAPA CERRADOS, 3., 2007, Planaltina. EMBRAPA Cerrados, 85 p. 2007

NASCIMENTO, M.; LAPIDO-LOUREIRO, F. E. Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira. Rio de Janeiro: CETEM/MCT. 59 p. (Série estudos e documentos, V.61, 2004.

NICHELE, E. R. Utilização de minerais no desenvolvimento de plantas e na mitigação de odores em criações animais confinadas. Dissertação (mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 86p. 2006.

OELKERS, E. H., SCHOTT, J., GAUTHIER, J. M., HERRERO-RONCAL, T. (2008). An experimental study of the dissolution mechanism and rates of muscovite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(20), 4948-4961.doi: 10.1016/j.gca.2008.01.040

ORRICO, A. C. A.; LUCAS-JÚNIOR, J.; ORRICO-JÚNIOR, M. A. P. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 3, p. 764-772, set./dez. 2007.

OSTERROHT, M. Rochagem para quê? In: OLIVEIRA, J. P. Rochagem-I: adubação com rochas silicatadas moídas, 20. Botucatu: Agroecológica, 2003. cap. 3, p. 12-15.

PÁDUA, E.J. Rochagem como adubação complementar para culturas oleaginosas. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 91p, 2012.

PINHEIRO, S. Agroecologia 7.0. Porto Alegre: Juquira Candiru Satyagraha, 2018. 663p.

PINHEIRO, S. Cartilha da saúde do solo e inocuidade dos alimentos (Cromatografia de Pfeiffer). Porto Alegre: Sales, 2011. 122p

PRIMAVESI, A. Manejo ecológico de pragas e doenças: técnicas alternativas para a produção agropecuária e defesa do meio ambiente. São Paulo: Expressão Popular, 2016. 143p

PRIMAVESI, S. O manejo ecológico do solo. São Paulo: Nobel, 1980. 541p.

PRIYONO, J; GILKES R. J. High-Energy Milling Improves the Effectiveness of Silicate Rock Fertilizers: A Glasshouse Assessment, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 39:3-4, 358-369, DOI: 10.1080/00103620701826498. 2008.

RAMOS, C.G. *et al.* Evaluation of the potential of volcanic rock waste from southern Brazil as a natural soil fertilizer. *J. Clean. Prod.* 142, 2700-2706., 2017.

RESENDE, A.V.; MARTINS, E.M.; OLIVEIRA, C.G.; SENA, M.C.; MACHADO, C.T.; KINPARA, D.I.; FILHO, E.C.O. Suprimento de potássio e pesquisa de uso de rochas “in natura” na agricultura brasileira. *Espaço e Geografia*, v.9, n.1, p. 19-42, 2006.

RESTREPO, J.; HENSEL, J. El A, B, C de la agricultura orgânica, fosfitos y panes de piedra. **Manual práctico**, Santiago de Cali 399p., 2015.

RIBEIRO, L.S. et al. Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes de nutrientes para as plantas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.34, n. 3, p. 891-897, maio/jun.2010.

RIBEIRO, G. M. Caracterização de pós de rochas silicáticas, avaliação da solubilidade em ácidos orgânicos e potencial de liberação de nutrientes como remineralizadores de solos agrícolas. Tese. Cav/Udesc. p. 34-107, 2018.

ROCHA, E. J. P. L. Agroflorestas sucessionais no assentamento Fruto D'anta/MG: potenciais e limitações para a transição agroecológica. 2006. 168f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Centro de Desenvolvimento Sustentável, Brasília, 2006.

RODRIGUES, A. F. S. Agronegócio e mineral negócio: relações de dependência e sustentabilidade. In: RODRIGUES, A. F. S. Informe mineral: desenvolvimento e economia mineral. Brasília: DNPM, 2009. p. 28-47.

ROZANE, D. E.; PRADO, R. M.; FRANCO, C. F.; NATALE, W. Eficiência de absorção, transporte e utilização de macronutrientes por porta-enxertos de caramboleira, cultivados em soluções nutritivas. *Ciência e Agrotecnologia*, v.31, n.4, p.1020-1026, 2007.

SANTA CATARINA. Gabinete de Planejamento e Coordenação Geral. Subchefia de Estatística. Atlas de Santa Catarina. Rio de Janeiro Aerofoto Cruzeiro, 1986. 173p.

SAMBUICHI, R. H. R.; MOURA, I. F.; MATTOS, L. M.; ÁVILA, M. L.; SPINOLA, P. A. C.; SILVA, A. P. M. A Política nacional de agroecologia e produção orgânica

no Brasil. Brasília: **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada** (IPEA), 2017. 463 p.

SILVA, A.; ALMEIDA, J.A.; SCHMITT, C.; COELHO, C.M.M.; Avaliação dos efeitos da aplicação de basalto moído na fertilidade do solo e nutrição de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta**, Curitiba, v.42, n.1, p.69-76, 2012.

SILVEIRA, M. L.; LIMA, F. M. R. S. O uso de pó de rocha fosfática para o desenvolvimento da agricultura familiar no Semi-Árido brasileiro. **JORNADA DA INICIAÇÃO CIENTÍFICA**, 15, 2007. Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro, 2007.

SOLOGUREN L. Visão agrícola milho, USP ESALQ ANO 9, JUL | DEZ 2015. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/visoagricola/sites/default/files/esalq-V13-Milho.pdf>. Acesso em: jan. 2023

SOUZA, M. E. P. Oligochaetas em solos sub sistemas de manejos a pleno sol e agroflorestal e verme compostagem associada com pós de rocha. 2010. 72p. Dissertação (Mestrado em solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SOUZA, F. N. S., OLIVEIRA, C.G.; MARTINS, E.S., ALVES, J.M. Efeitos condicionador e nutricional de um remineralizador de solos obtido de resíduos de mineração. **Revista Agri- Environmental Science**, Palmas – TO, v.3, n.1, 2017.

SOUZA, R.B.; ACÂNTARA, F.A. Adubação no sistema orgânico de produção de hortaliças. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 8p. (Embrapa CNPH. Circular Técnica, 65).

SNANEWS. Sociedade Nacional de Agricultura. Milho é uma das principais fontes de alimento do brasileiro com importância estratégica no agronegócio, *Canal do Produtor*, 01p. 2016.

STRAATEN, P. Van. Agrogeology: the use of rocks for crops. Cambridge, ON: Enviroquest Ltd, 2007.

STILES, W. A. V. et al. Using microalgae in the circular economy to valorise anaerobic digestate: challenges and opportunities. **Bioresour. Technol.** 267, 732–742., 2018.

STUMM, W. G.; FURRER, E. W.; ZINDER, B. The Effects of Complex-Forming Ligands on the Dissolution of Oxides and Alumino-Silicates in The Chemistry of Weathering (D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 1985.

STUMM, W. Chemistry of the Solid-Water Interface. Swiss Federal Inst. Technology, ETH Zurich, Switzerland. pp.x + 428 pp. ref.21 pp. Of ISBN: 0471576727. 1992.

SUPANJANI, HYO, S.H., JAE, S.J., KYUNG, D.L. Rock phosphate-potassium and rock solubilising bacteria as alternative, sustainable fertilizers. *Agron. Sustain. Dev.* 26, 233– 240. 2006.

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI C. A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo plantas e outros materiais. Porto Alegre, UFRGS, 1995, 174 p.

TAVARES, L. F. Disponibilização de potássio e silício de remineralizador pelo processo de compostagem. 2017. 55f. Dissertação (Mestrado em Agronomia - Produção Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Instituto de Ciências Agrária, Rio Paranaíba, 2017.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. & SAMPAIO, J. A. Estudo do comportamento térmico da rocha fonolito com fins à produção de fertilizantes. HOLOS, 5: 52-64, 2015.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O.; ROCHA, E. L.; REGO, K. G. Experiências de uso de rochas silicáticas como fonte de nutrientes. *Revista Espaço e Geografia*, v. 9, n. 2, p. 263–292, 2006.

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.

THEODORO, S. H.; TCHOUANKOUE, J. P.; GONÇALVES, A. O.; LEONARDOS, O.; HARPER, J. A Importância de uma Rede Tecnológica de

Rochagem para a Sustentabilidade em Países Tropicais. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 6, p. 1390-1407, 2012.

TEODORO, S.H.; ALMEIDA, E. Agrominerais e a construção da soberania agrícolas no Brasil. Agriculturas, v.10, n.01, p.22-28, 2013.

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, 23-34., 2013.

THEODORO, S. H.; LEONARDOS, O. H. Stonemeal: principles, potencial and perspective from Brazil. In: Goreau, T. J., Larson, R. W. and Campe, J. Geotherapy: Innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration and reversing CO₂ increase. **CRC Press**. USA. p. 403-418. 2014.

THEODORO, A.C.E.M.R. III congresso brasileiro de rochagem Pelotas, RS, 2016.

TOSTA, C. D.; ASSAD, M. L. R. C. L.; FERRARI, A. M.; ERLER, G. e CECCATOANTONINI, S. R. Biossolubilização de potássio de rocha ultramáfica por Aspergillus niger. In: Congresso Brasileiro de Microbiologia, 23. Santos, Anais. Santos: SBM. 2005.

TRINDADE, A. V.; SIQUEIRA, J. O. e ALMEIDA, F. P. Dependência micorrízica de variedades comerciais de mamoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 36:1485-1494. 2001.

USDA. United States Department of Agriculture. Grain: world markets and trade. Disponível em: <<https://www.fas.usda.gov/data/grain-world-markets-and-trade>>. Acessoem: 21 abr. 2018a.

USDA. United States Department of Agriculture. World agricultural production. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/world-agricultural-production>. Acesso em: 21 abr. 2018b.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUMJÚNIOR, B. de S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Arch. Zootec.* v. 58, p. 59-85, 2009.

VAN STRAATEN, P. Rocks for crops: Agrominerals of Sub-Saharan Africa. ICRAF, Nairobi, Kenya, 2002. 338 p.

VAN STRAATEN, P. Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, Brasilia, p. 732-747, 2006.

VAN STRAATEN, P. Agrogeology: The use of rock for crops Enviroquest Ltd. 440 p., 2007.

WANG, J.G., ZHANG, F.S., CAO, Y.P., ZHANG, X.L. Effect of plant types on release of mineral potassium from gneiss. **Nutr. Cycl. Agroecosyst.** 56, 37–44. 2000.

WHITE, A. F. Quantitative Approaches to characterizing Chemical weathering rates. In S., Brantley, J. D., Kubicky, & White, A. R. (Eds.), Kinetics of water-rock interaction (p. 469-543). New York, NY: Springer. 2008.

WHITTIG, L. D.; ALLARDICE, W. R. X-ray diffraction techniques. In: KLUTE, A. (ed). Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods. 2 ed. Madison: **Soil Science Society of America**. 331p. 1986.

WILPERT, K.V.; LUKES, M. Ecochemical effects of phonolite rock powder, dolomite and potassium sulfate in a spruce stand on a acidified glacial loam. Nutrient Cycling in Agroecosystems, Dordrecht, v. 65, n. 1, p. 115-127, Feb. 2003.

WOLSCHICK, P. R. D.; SCHUCH, F. S.; GERBER, T.; SARTORETTO, L. M. Efeito do pó de rocha basáltica sobre a germinação de *Cedrela fissilis*. Agropecuária Catarinense, v.29, n.3, p.76-80, 2016.

YAMADA, K.; XU, H.-L.; Properties and applications of an organic fertilizer inoculated with effective microorganisms. *Journal of Crop production* 3, 255–268., 2001.

YOUSSEF, G.H., SEDDIK, W.M., OSMAN, M.A. Efficiency of natural minerals in presence of different nitrogen forms and Potassium dissolving bacteria on peanut and sesame yields. *J. Am. Sci.* 6, 647–660.2010.

ZHOU, J. M., & HUANG, P. M. (2007). Kinetics of potassium release from illite as influenced by different phosphates. *Geoderma*, 138(3-4), 221-228. doi: 10.1016/j.geoderma.2006.11.013