

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ DE FONOLITO EM LATOSSOLO
VERMELHO DISTROFÉRICO POR AÇÃO DE POÁCEAS
CULTIVADAS COMO PLANTAS DE COBERTURA**

Alaor Ribeiro da Rocha Neto
Engenheiro agrônomo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CAMPUS DE JABOTICABAL**

**SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ DE FONOLITO EM LATOSSOLO
VERMELHO DISTROFÉRICO POR AÇÃO DE POÁCEAS
CULTIVADAS COMO PLANTAS DE COBERTURA**

Alaor Ribeiro da Rocha Neto

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Coorientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Campus de Jaboticabal, como parte das
exigências para obtenção do título de Mestre
em Agronomia (Produção Vegetal).**

2020

R672s Rocha Neto, Alaor Ribeiro da

Solubilização de pó de fonolito em Latossolo Vermelho
distroférico por ação de poáceas cultivadas como plantas de
cobertura / Alaor Ribeiro da Rocha Neto. -- Jaboticabal, 2020

33 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,

1. Adubação. 2. Fertilidade do solo. 3. Potássio. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo
autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

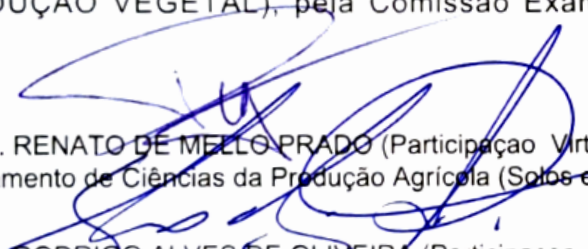
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ DE FONOLITO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO POR AÇÃO DE POÁCEAS CULTIVADAS COMO PLANTAS DE COBERTURA

AUTOR: ALAOR RIBEIRO DA ROCHA NETO

ORIENTADOR: RENATO DE MELLO PRADO

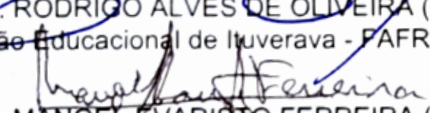
COORIENTADORA: MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Solos e Adubos) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. RODRIGO ALVES DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Fundação Educacional de Ituverava - FAFRAM / Ituverava/SP



Prof. Dr. MANOEL EVARISTO FERREIRA (Participação Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Solos e Adubos) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de outubro de 2020

DADOS CURRICLARES DO AUTOR

ALAOR RIBEIRO DA ROCHA NETO – nascido no dia 06 de novembro de 1993 na cidade de Ituverava, SP, concluiu o ensino médio junto ao curso Técnico em Agropecuária no ano de 2011. Engenheiro Agrônomo pela Faculdade de Agronomia Dr. Francisco Maeda de Ituverava em 2015, iniciou atividades de pesquisa ainda no começo do curso, junto ao Instituto Agronômico de Campinas (IAC), onde trabalhou com a cultura do algodão. Durante o curso foi aluno monitor das disciplinas de Morfologia Vegetal e Adubos e Adubação. Ainda neste período, desenvolveu e conduziu projeto no qual foram avaliados os efeitos da aplicação de silício no manejo integrado de *Spodoptera frugiperda* e no desenvolvimento da cultura do milho durante dois anos, o qual gerou dados para publicação em congresso nacional, trabalho de conclusão de curso do autor e, ainda intermediou bolsa de estudo internacional. Também foi bolsista PIBIC de iniciação científica junto ao IAC – Centro de Cana de Ribeirão Preto, SP, onde trabalhou com seletividade de herbicidas em mudas pré-brotadas de cana-de-açúcar. Possui experiência internacional por meio de estágio curricular de graduação junto ao “Department of Entomology and Plant Pathology - Oklahoma State University (OSU), USA” (2015). Exerceu atividade profissional como instrutor técnico do SENAR/SP, além de ter atuado como consultor, dando assistência agrônômica a propriedades produtoras de grãos e pastagens na região do Triângulo Mineiro. Em 2018, com bolsa de estudos pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, em Jaboticabal.

“...A maldade é grande, Deus é maior.
Abram caminho para eu passar.”

Tião Carreiro/Lourival dos Santos

Em especial aos meus pais, e a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para que aqui eu chegasse.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me dar a capacidade do discernimento, coragem e força.

Agradeço aos meus pais, Renauria Alvair Ferreira e Lauro Cesar Alves da Rocha, e ao meu irmão, Caion Cesar Ferreira Rocha, por acreditarem em mim, sempre.

Agradeço a meu orientador Prof. Dr. Renato de Mello Prado, não só pelo que fez por mim, mas também por ter enxergado que eu podia sim chegar aqui.

Agradeço aos meus amigos do Laboratório de Fertilidade do Solo por fazerem os meus dias mais felizes e pela contribuição com o presente trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira, por nossas brincadeiras, por ter feito parte da construção de meu conhecimento e por ter me dado o prazer de conviver com o primeiro professor de Fertilidade do Solo da FCAV/Unesp.

Meus agradecimentos a Luiz Silveira Silva, aluno de graduação e agora amigo, que esteve ao meu lado firme desde o começo, independentemente do problema a ser enfrentado. Literalmente, debaixo de chuva e sol, no barro, no seco, na poeira e no ar condicionado, sem se importar com a hora, dia ou noite, com o cansaço, ou com o fato de chegarmos em casa espatifados pelo trabalho.

Agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida para desenvolvimento deste trabalho.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Por fim, meu agradecimento especial é para a Profa. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz, a quem me faltam palavras para descrevê-la. Me acolheu, me ensinou, não só fertilidade do solo ou pesquisa, mas também aquelas coisas que não se pagam como honestidade, respeito, luta e, o mais importante... confiou fielmente em mim desde o começo. Eu jamais erraria com uma pessoa como você.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	ii
ABSTRACT	iii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
1.1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
1.2.1 Potássio no solo.....	3
1.2.2 Potássio em poáceas forrageiras.....	4
1.2.3 Fontes alternativas de potássio.....	6
1.2.4 Solubilização de potássio por ação das plantas.....	8
1.3 REFERÊNCIAS	9
CAPITULO 2 – Ação solubilizadora de pó de fonolito por poáceas usadas como plantas de cobertura e efeito nas formas de potássio do solo	13
RESUMO.....	13
2.1 INTRODUÇÃO.....	13
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	15
2.3 RESULTADOS	18
2.4 DISCUSSÃO.....	21
2.5 CONCLUSÕES.....	24
2.6 REFERÊNCIAS	25
CAPITULO 3 – Solubilização de pó de fonolito por <i>Brachiaria decumbens</i> em função da acidez e reflexos em atributos químicos do solo	28
RESUMO.....	28
3.1 INTRODUÇÃO.....	28
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.3 RESULTADOS	33
3.4 DISCUSSÃO.....	38
3.5 CONCLUSÕES.....	42
3.6 REFERÊNCIAS	42

SOLUBILIZAÇÃO DE PÓ DE FONOLITO EM LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO POR AÇÃO DE POÁCEAS CULTIVADAS COMO PLANTAS DE COBERTURA

RESUMO – As plantas de cobertura podem causar alterações químicas na estrutura de minerais silicatados e aumentar a solubilidade de fontes pouco solúveis de nutrientes como os pós de rocha. O fonolito pode ser fonte de K, mas falta pesquisa se sua solubilização depende da espécie cultivada, dose do material e da acidez do solo. Deste modo, o objetivo geral com este trabalho foi avaliar a solubilização de potássio do pó de fonolito por ação de espécies de poáceas e os efeitos da aplicação do produto em atributos químicos de Latossolo Vermelho distroférico. Foram conduzidos, em casa de vegetação, dois experimentos em esquema fatorial 5x2 em delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições, utilizando Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa. No primeiro experimento foram avaliadas quatro espécies de poáceas (*Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus* e *Brachiaria humidicola*), mais um tratamento sem planta, nas condições sem aplicação e com aplicação de 8 t ha⁻¹ de pó de fonolito. Após 70 dias de crescimento de plantas divididos em dois ciclos, de 40 e 30 dias, foram determinados matéria seca (MS) da parte aérea e K acumulado, e K trocável, não trocável, estrutural e total do solo. Neste experimento foi observado aumento de MS e K absorvido pelas plantas e aumento de K não trocável, K estrutural e K total do solo em função da aplicação do pó de fonolito. A *Brachiaria decumbens* foi a única espécie com potencial solubilizador do produto. Desta forma, esta espécie foi avaliada no segundo experimento combinando cinco doses do pó de fonolito (0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹) com duas condições de acidez no solo, correspondentes a índices de saturação por bases (V) de 40 e 60%. Foram acrescentados às avaliações pH e capacidade de troca de cátions (CTC) do solo. Não foi observado efeito do V% para K acumulado na parte aérea das plantas, K trocável, estrutural e total do solo. O potencial solubilizador da *Brachiaria decumbens* em relação ao pó de fonolito foi confirmado e foi independente das condições de V%. Ainda, as doses do fonolito não alteraram os atributos pH e CTC do solo.

Palavras-chave: adubação, fertilidade do solo, pó de rocha, potássio, solubilidade

PHONOLITE ROCK POWDER SOLUBILIZATION IN DISTROPHIC RED OXISOL BY GRASSES ACTION CULTIVATED AS COVER PLANTS

ABSTRACT - Cover plants can cause chemical changes in the structure of silicate minerals and increase the solubility of poorly soluble sources of nutrients such as rock powders. Phonolite can be a source of K, but research is lacking if its solubilization depends on the species grown, the dose of the material and the acidity of the soil. Thus, the general aim of this study was to evaluate the potassium solubilization of the phonolite powder by action of grasses species and the effects of the application of the product on chemical attributes of dystrophic Red Oxisol. Two experiments were carried out in a greenhouse, in a 5x2 factorial scheme in a completely randomized design with four replications, using a typical dystrophic Red Oxisol with a clay texture. In the first experiment, four grasses species (*Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus* and *Brachiaria humidicola*) were evaluated, plus a treatment without a plant, under conditions without application and with application of 8 t ha⁻¹ of phonolite powder. After 70 days of plant growth divided into two cycles, 40 and 30 days, dry matter (DM) of the aerial part and accumulated K, and exchangeable, non-exchangeable, structural and total soil were determined. In this experiment, an increase in DM and K absorbed by plants and an increase in non-exchangeable K, structural K and total soil K were observed as a function of the application of phonolite powder. *Brachiaria decumbens* was the only species with a potential product solubilizer. Thus, this species was evaluated in the second experiment combining five doses of phonolite powder (0, 2, 4, 6 and 8 t ha⁻¹) with two conditions of acidity in the soil, corresponding to base saturation indexes (V) 40 and 60%. The pH and the cation exchange capacity (CEC) of the soil were added to the evaluations. There was no effect of V% for K accumulated in the aerial part of the plants, exchangeable, structural and total soil K. The solubilizing potential of *Brachiaria decumbens* in relation to the phonolite powder was confirmed and was independent of the conditions of V%. Furthermore, the phonolite doses did not change the pH and CEC attributes of the soil.

Keywords: fertilization, potassium, rock powder, soil fertility, solubility

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1 INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um dos elementos mais abundantes da crosta terrestre, e o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas. No entanto, na maioria dos solos do Brasil, altamente intemperizados, com baixa proporção de minerais que contêm K em suas estruturas, sua disponibilidade às plantas depende essencialmente dos baixos teores trocáveis e da aplicação de fertilizantes (Ribeiro et al., 2010).

Cerca de 94% do adubo potássico utilizado anualmente na agricultura brasileira é importado, e isso faz com que o cloreto de potássio (KCl), principal produto das importações, chegue a custo elevado aos produtores (Silva et al., 2018). Desta forma, a combinação da elevada exigência desse nutriente pelas culturas com a baixa produção nacional do adubo, faz com que seja necessário buscar alternativas econômicas aos fertilizantes tradicionais (Ribeiro et al. 2010).

A técnica da aplicação de pó de rocha no solo tem despertado interesse de pesquisadores no Brasil e no mundo em busca de melhorar a fertilidade dos solos tropicais sem afetar o equilíbrio do ambiente. A aplicação dessas rochas moídas visa reduzir os custos de produção e aproveitar matérias primas abundantes no País como forma alternativa ou complementar de adubação potássica (Manning, 2010; Moretti et al., 2019).

Algumas rochas têm sido estudadas quanto ao potencial de fornecer K às plantas e alterar atributos químicos do solo como pH e CTC, devido ao fato de conterem proporções variadas de carbonatos e material coloidal. No entanto, essas rochas são constituídas principalmente por minerais primários e secundários que contêm K em suas estruturas ou o retêm de forma específica. Portanto, sua aplicação pode causar alterações também nas formas de K do solo (Gonçalves et al., 2013; Martins, 2013).

O fonolito é uma das rochas em estudo que tem potencial para aplicação na agricultura, tendo em vista que contém altos teores de K_2O total (6 a 15%) por ser constituída basicamente por feldspatos de potássio. O desafio no uso deste produto é

viabilizar seu emprego direto como fonte do nutriente às plantas, visto a baixa solubilidade de seus minerais (Ribeiro et al., 2010; Martins, 2013).

Por esta característica de solubilidade, admite-se que os efeitos do pó de rocha ocorram em longo prazo. Porém, em pesquisas já concluídas foi evidenciado que com o uso simultâneo de uma fonte geradora de acidez, como as plantas, a solubilidade dos feldspatos potássicos aumenta. Esse efeito das plantas em induzir intemperismo de minerais silicatados e liberar nutrientes prontamente disponíveis para absorção em questão de dias vem sendo estudado há algumas décadas (Hinsinger et al., 2001; Landeweert et al., 2001).

O efeito solubilizador das plantas ocorre porque elas têm capacidade de modificação química da rizosfera pela liberação de íons H^+ ou OH^- em função do balanço eletroquímico, ou pela exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular como oxalatos, citratos e malatos, que induzem a dissolução dos minerais (Silva et al. 1987; Landeweert et al. 2001).

As poáceas forrageiras utilizadas como plantas de cobertura, de modo geral, podem apresentar tal capacidade solubilizadora, pois são plantas rústicas, que não passaram por processo de melhoramento genético e a exsudação de ácidos orgânicos pode variar em quantidade e qualidade a depender da espécie. Assim, sua ampla adaptabilidade a ambientes pobres em nutrientes está, pelo menos em parte, relacionada às mudanças citadas na região da rizosfera (Hartwig et al., 2007; Menezes-Blackburn et al., 2018).

Com base na argumentação, admite-se que a espécie de poácea cultivada e a acidez do solo podem afetar a solubilização do K presente nas rochas. Portanto, o biointemperismo exercido pelas plantas às condições de solo tropical poderia ser estratégia utilizada para aumentar a eficiência no uso de pó de rocha como adubo potássico.

Assim, o objetivo geral com este trabalho foi avaliar o potencial de poáceas de cobertura em solubilizar K de pó de fonolito, bem como, os efeitos desse produto em atributos químicos de Latossolo Vermelho distroférico.

1.2 REVISÃO DE LITERATURA

1.2.1 Potássio no solo

O K é encontrado nos solos em um conjunto de formas, porém não participa de compostos que não sejam as estruturas cristalinas dos minerais. Fora dessas estruturas é encontrado na forma iônica, livre em solução ou neutralizando cargas entrecamadas de alguns minerais específicos. Na matéria orgânica do solo seus teores são extremamente baixos, pois se restringem à fração orgânica viva. Sendo assim, a matéria orgânica representa um reservatório desprezível de K no solo (Ernani et al., 2007).

Na maioria dos solos do Brasil, altamente intemperizados, existe apenas uma pequena reserva de minerais que contêm K nas suas estruturas, o que faz com que sua disponibilidade para as plantas seja controlada pelo K trocável, que ocorre de modo geral em teores baixos, e pela aplicação de fertilizantes (Ribeiro et al., 2010).

O K do solo pode ser fracionado nas formas de K da solução, K trocável, K não trocável e K estrutural. Os teores de K em solução são extremamente pequenos e constantemente repostos pela forma trocável que, por isso, se correlaciona com o K absorvido pelas plantas. O K total é a soma de todas as formas (Medeiros et al., 2014).

O K trocável é a forma que está adsorvida por ligações eletrovalentes aos coloides minerais e orgânicos do solo. Esta forma se mantém em equilíbrio imediato com o K da solução, o reabastecendo quando a concentração é diminuída devido à absorção pelas plantas ou à perdas por lixiviação. Desta maneira, o K trocável do solo é considerado a reserva de K disponível para as plantas (Medeiros et al., 2014).

O K não trocável refere-se aos íons K^+ adsorvidos de maneira específica no interior das entrecamadas de minerais do tipo 2:1, resultantes do intemperismo das micas. Também é considerado como não trocável o K da estrutura de minerais como feldspatos potássicos e micas, que pode ser facilmente solubilizado em meio ácido. Com solução de ácido nítrico 1 mol L^{-1} a quente extraem-se as formas não trocável + trocável, de modo que se obtém o K não trocável subtraindo o K trocável extraído com solução de cloreto de amônio 1 mol L^{-1} (Chaves et al., 2015) ou outro extrator.

A forma não trocável presente principalmente em argilominerais do tipo 2:1 como illita e vermiculita, pode também ser denominada K fixado, pois o mesmo é usado como forma de neutralizar o déficit de cargas positivas gerado pela substituição isomórfica nas lâminas tetraedrais de silício. Esta fixação de K nos Latossolos é normalmente inexistente, devido ao alto grau de alteração de seus constituintes pelo intemperismo, restando pouca ou nenhuma reserva desses minerais em suas frações mais grosseiras (Ernani et al., 2007; Manning et al., 2017).

O K estrutural do solo é aquele que faz parte da estrutura cristalina de minerais primários como micas e feldspatos, ou até mesmo de alguns minerais considerados secundários como a illita. Nos feldspatos o K está presente em maior quantidade nos feldspatos potássicos do tipo ortoclásio, microclina e sanidina, e em alguns feldspatoides como leucita e nefelina (Lira et al., 2013).

O K estrutural representa a maior parte do K do solo. Mesmo nos Latossolos, nos quais esta quantidade é pequena devido a baixa reserva desses minerais em suas frações, o K estrutural representa a quase totalidade do K total do solo. Em alguns Latossolos, entretanto, pode haver minerais interestratificados com caulinita, dos tipos caulinita-vermiculita ou caulinita-esmectita, que explicam os teores encontrados (Melo et al., 2003).

O potássio total do solo é obtido pelo somatório de todas as formas, mas, como comentado, é definido particularmente pelo K estrutural. Nos Latossolos os teores totais de K são baixos quando comparados aos de solos de regiões temperadas, obtendo-se valores da ordem de 960 mg kg^{-1} , em comparação à teores acima de 9.000 mg kg^{-1} , respectivamente. Esses teores totais nos Latossolos só podem ser aumentados com o uso de alguma fonte dos minerais anteriormente citados (Gonçalves et al., 2013; Martins et al., 2014).

1.2.2 Potássio em poáceas forrageiras

De maneira geral, o K é o segundo nutriente mais absorvido pelas plantas, sua função é exclusivamente enzimática, não fazendo parte de nenhum composto orgânico. O K atua como ativador de mais de 60 enzimas nos processos metabólicos

das células e, para isso, a planta deve mantê-lo em elevadas concentrações no citoplasma, o que justifica a elevada exigência por este nutriente (Malavolta, 1984).

É comum encontrar na literatura que não há resposta em produtividade por poáceas forrageiras a adubação potássica. Se o teor de K trocável do solo segundo critério descrito em Raij et al. (1997) for considerado de médio a alto, não haverá resposta da maioria dessas espécies a adubação potássica. No entanto, quando cultivadas em solos com teores baixos ou muito baixos, são observados aumentos na produção de matéria seca (Coutinho et al., 2004).

Plantas de *Brachiaria decumbens* cultivadas em Argissolo Vermelho Amarelo distroférico com teor médio de K só apresentaram aumento na produção de matéria seca após o quinto corte da parte aérea, quando diminuiu os teores deste nutriente no solo (Andrade et al., 1997).

Rosolem et al. (2012) cultivaram *Brachiaria ruziziensis* em Latossolo Vermelho distroférico com teor baixo de K após cultivo de soja que recebeu doses de 0, 60, 120 e 180 kg ha⁻¹ de K₂O. Foram obtidos aumento de matéria seca e de K absorvido pelas plantas à cada dose residual.

Em plantas de *Brachiaria humidicola* também foram observados aumento de matéria seca e de K acumulado nos tecidos em função de doses de K aplicadas (Costa et al., 2008). Ainda, foram observados pelos autores que a aplicação de K aumentou os teores de nitrogênio e fósforo da folha e a eficiência de absorção desses nutrientes.

Apesar de escassas as informações na literatura a respeito de adubação potássica em capins do gênero *Andropogon*, foi relatado em um estudo feito na Colômbia que sem adubação potássica a produção de matéria seca de *Andropogon gayanus* foi 50% da produção máxima em Oxissolo semelhante aos do cerrado do Brasil. Os autores concluíram que a resposta desse capim ao K é baixa, porém é uma boa opção de espécie como planta de cobertura para solos de cerrado (Thomas et al., 1981).

Segundo diversos autores todas as espécies mencionadas são eficientes em absorver quantidades consideráveis de K do solo e reciclá-lo por meio do acumulado na matéria seca, confirmando a importância dessas espécies de poáceas como culturas de cobertura (Thomas et al., 1981; Andrade et al., 1997; Costa et al., 2008; Rosolem et al., 2012).

A absorção de grandes quantidades de K por essas espécies acentua a depleção do K da solução e pode forçar a liberação deste nutriente das formas não trocáveis (Rosolem et al., 2012; Medeiros et al., 2014), o que pode tornar viável o uso de fontes de K de baixa solubilidade nestas condições de manejo.

1.2.3 Fontes alternativas de potássio

Pesquisas com fontes alternativas de K vêm sendo feitas desde o início da década de 1970. O motivo para tal preocupação foi sempre a alta demanda por cloreto de potássio (KCl) importado, visto que a produção nacional do adubo é muito baixa. Cerca de 94% do adubo potássico utilizado anualmente na agricultura brasileira é importado, e quase a totalidade dessa importação é do KCl (Silva et al., 2018).

Assim, a procura por fontes alternativas de K abundantes no Brasil visa a diminuir os custos de produção e utilizar matérias primas brasileiras, como as rochas ricas em minerais potássicos. A técnica da aplicação de pó de rocha tem despertado o interesse de pesquisadores ao redor do mundo em busca de alterar positivamente a fertilidade dos solos tropicais e diminuir a dependência do uso de KCl importado, aumentando assim a sustentabilidade da produção (Manning, 2010; Moretti et al., 2019).

Outro fator que tem impulsionado o uso agrícola de pó de rocha é a agricultura orgânica, que atualmente ocupa milhões de hectares distribuídos em cerca de 186 países, e gera receita de mais de 100 bilhões de dólares por ano (Willer et al., 2020).

Dentre as muitas fontes alternativas recentemente estudadas, de rochas até escórias de alto forno, podem ser destacadas as rochas ultramáfica alcalina, brecha piroclástica, flogopito, verdete e fonolito. Essas rochas são ricas em minerais primários e secundários fontes de K, tendo sido estudadas em mistura com calcário, calcinadas em altas temperaturas e in natura (Ribeiro et al., 2010; Gonçalves et al., 2013; Martins et al., 2014).

O fonolito, alternativa de estudo deste trabalho, é uma rocha alcalina de origem vulcânica rica em K, dos planaltos de Poços de Caldas, MG. Sua constituição é dada principalmente por minerais de feldspatos potássicos como ortoclásios, microclinas,

sanidinas e feldspatoides como a nefelina. É uma rocha com potencial de uso na agricultura por ter elevado teor total de K_2O , em torno de 9% (Teixeira et al., 2012).

Essas rochas têm sido estudadas quanto ao seu potencial de fornecer K às plantas e alterar os atributos químicos do solo. Ribeiro et al. (2010) avaliaram o potencial de flogopito, ultramáfica alcalina e brecha piroclástica em fornecer K para a cultura da soja e alterar atributos químicos do solo. Relataram que as rochas aumentaram os teores de K trocável do solo com 45 dias de incubação, e ainda, a ultramáfica alcalina proporcionou aumento no valor de pH.

Martins et al. (2014) estudaram os efeitos de verdete, ultramáfica e fonolito em atributos químicos de Latossolo Vermelho Amarelo distroférico; Martins et al. (2013) avaliaram os efeitos das mesmas rochas na produção de capim *Brachiaria brizantha* e Gonçalves et al. (2013) avaliaram o efeito de doses de pó de fonolito nas formas de K do solo. Como resultados os autores relataram aumento do valor de pH, da saturação por bases e das formas trocáveis, não trocáveis e estruturais de K do solo. Os autores relataram também aumento da produção de matéria seca e de K acumulado nas plantas.

Além disso, embora não haja comprovação, há a expectativa de que com a aplicação de pó de rocha ocorra aumento da capacidade de troca de cátions do solo (CTC) devido à presença significativa de minerais que contém cargas de superfície, e pela formação de minerais de argila ao longo do tempo pelo processo de alteração dos minerais primários contidos nas rochas (Martins, 2013).

As rochas que contém feldspatos potássicos têm, portanto, potencial para aplicação na agricultura, pois estes minerais são os que apresentam maior concentração de K na natureza, cerca de 16% de K_2O . Porém, sua baixa solubilidade dificulta seu emprego direto como fonte do nutriente às plantas. Para aumentar sua eficiência há necessidade de combinação de técnicas que favoreçam o aumento da solubilidade dos pós de rocha (Silva et al., 2018).

1.2.4 Solubilização de potássio por ação das plantas

Com exceção do nitrogênio, todos os demais nutrientes das plantas vêm do intemperismo das rochas, que provoca alterações nas formas dos minerais por ação

química, física e biológica, liberando os elementos contidos em suas redes cristalinas (Landeweert et al., 2001).

O papel das plantas superiores neste processo vem sendo desempenhado desde o seu surgimento, a cerca de 400 milhões de anos. Isso ocorre por liberação de H^+ ou OH^- na rizosfera, e por exsudação de ácidos orgânicos como oxalatos, citratos e malatos (Silva et al., 1987; Landeweert et al., 2001; Manning et al., 2017).

Os ácidos orgânicos exsudados pelas plantas, principalmente citrato e malato, reagem com a superfície dos minerais e podem complexar fortemente Al^{3+} da estrutura dos mesmos, ou formar quelatos com esses cátions em solução, forçando a instabilidade do mineral pelo aumento do gradiente de concentração (Landeweert et al., 2001).

As reações com os ácidos orgânicos e o aumento da acidez na rizosfera pela liberação de H^+ podem desencadear lentamente o processo de dissolução dos minerais de feldspatos potássicos. Esse processo é lento, porém, contínuo durante o ciclo de desenvolvimento das plantas, podendo ocorrer reações semelhantes às de intemperismo químico desses minerais: feldspato ortoclásio ($KAlSi_3O_8$) + $4H^+$ + $4H_2O$ → Al^{3+} + $3H_4SiO_4$ + K^+ , liberando K na solução do solo (Landeweert et al., 2001).

Manning et al. (2017) confirmaram o potencial de plantas em obter K de fontes minerais ricas em feldspatos potássicos e micas, e por isso apoiam projetos de uso futuro de rochas ricas em minerais silicatados como fontes alternativas ou complementares de adubação potássica, principalmente para solos altamente intemperizados de regiões tropicais como os Latossolos.

Imagens de microscopia eletrônica indicaram superfícies de feldspatos potássicos desgastadas devido a ação das plantas (Manning et al., 2017). Os autores sugerem que sejam realizados experimentos com diferentes tipos rochas potássicas em Latossolos por períodos de tempo maiores do que 10 semanas, e que sejam utilizadas culturas apropriadas, sendo elas, de interesse econômico ou que tenham potencial para solubilizar K dessas fontes.

Poáceas forrageiras do gênero das Brachiarias, geralmente utilizadas como plantas de cobertura, têm sido estudadas quanto a exsudação de ácidos orgânicos em quantidade e qualidade diferentes em função das espécies. É relatada liberação principalmente de citrato pelas raízes de *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria*

ruzizensis (Hartwig et al., 2007). Ainda, devido essas características, essas espécies têm sido estudadas quanto ao potencial de obter potássio de formas não trocáveis no solo e reciclá-lo por meio da matéria seca (Rosolem et al., 2012).

1.3 REFERÊNCIAS

Andrade JB, Coutinho Filho JLV, Justo C, Perez R, Ferrari Junior E, Paulino V, Mattos H (1997) Nitrogênio e potássio na produção e composição da forragem de *Brachiaria decumbens* Stapf. **ARS Vet.** 268-274.

Chaves E, Pedron FA, Melo VF, Dalmolin RSD (2015) Reserva mineral de K por diferentes métodos em argissolos subtropicais. **Rev Bras Ciênc Solo** 39:1088–1099. <https://doi.org/10.1590/01000683rbcs20140670>.

Costa NL, Paulino VT, Magalhães JA, Townsend CR, Pereira RGA (2008) Resposta de *Brachiaria humidicola* à níveis de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA.

Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106206/1/ztc2008-003-0016.pdf>>. Acesso 04 mar. 2020.

Coutinho ELM et al (2004) Adubação potássica em forrageiras. In: Pedreira CGS, Moura JC, Faria VP (ed) Fertilidade do solo para pastagens produtivas, FEALQ, Piracicaba, p. 219-277.

Ernani PR, Almeida JA de, Santos FC (2007) Potássio. In.: Novais RF, Alvarez V VH, Barros NF, Fontes RLF, Cantarutti RB, Neves JCL (Eds). **Fertilidade do Solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 553-562.

Gonçalves ASF, Martins V, Leite MCA, Muilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fracionamento de potássio em solos adubados com fontes alternativas. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113792/1/34261.pdf>>. Acesso 04 mar. 2020.

Hartwig I, Oliveira ACde, Carvalho FIF de, Bertan I, Silva JAGda, Schmidt DAM, Valério IP, Maia LC, Fonseca DAR, Reis CES dos (2007) Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semin Ciências Agrárias** 28:219-228.

Hinsinger P, Barros ONF, Benedetti MF, Noack Y, Callot G (2001) Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. **Geochim Cosmochim Acta** 65:137-152. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00524-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00524-X).

Landeweert R, Hoffland E, Finlay RD, Kuyper TW, Breemen N (2001) Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends Ecol Evol** 16:248-254. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02122-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02122-X).

Lira HL, Neves GA (2013) Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção. **Rev Eletrônica Mater e Process** 8:110-117.

Malavolta E (1984) O potássio e a planta. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 160p.

Manning DAC (2010) Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **Agron Sustain Dev** 30:281-294. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>.

Manning DAC, Baptista J, Limon MS, Brandt K (2017) Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Sci Total Environ** 574:476-481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.086>.

Martins V (2013) Solubilização de fontes de potássio e seu efeito em atributos do solo e no crescimento e nutrição do capim-marandu. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia – UFLA, Lavras).

Martins V, Gonçalves AS, Leite MCA, Guilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fontes alternativas de potássio para a nutrição da *Brachiaria brizantha* cv Marandu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Resumos expandidos** Florianópolis: CBCS, p. 1-4.

Martins V, Silva DRG, Marchi G, Leite MCA, Martins ES, Gonçalves ASF, Guilherme LRG (2014) Effect of alternative multinutrient sources on soil chemical properties. **Rev Bras Ciênc Solo** 39:194-204. DOI: 10.1590/01000683rbc20150587.

Medeiros JS, Oliveira FHT, Santos HC, Arruda JA, Vieira MS (2014) Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Rev Ciênc Agron** 45:417-426. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200025>.

Menezes-Blackburn D, Giles C, Darch T et al (2018) Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. **Plant Soil** 427:5-16.

Melo VF, Corrêa GF, Maschio PA, Ribeiro AN, Lima VC (2003) Importância das espécies minerais no potássio total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. **Rev Bras Ciênc Solo** 27:807-819. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000500005>.

Moretti LG, Bossolani JW, Crusciol CAC, Moreira A, Micheri PH, Rossi R, Imaizumi C (2019) Dunite in agriculture: physiological changes, nutritional status and soybean yield. **Commun Soil Sci Plant Anal** 50:1775-1784. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2019.1635143>.

Raij B van, Cantarella H, Quaggio JA, Furlani AMC (Eds) (1997) Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC, 285p.

Ribeiro LS, Santos AR, Souza LFS, Souza JS (2010) Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev Bras Ciênc Solo** 34:891-897. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000300030>.

Rosolem CA, Vicentini JPTMM, Steiner F (2012) Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Rev Bras Ciênc Solo** 36:1507–1515. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500015>.

Silva FLIM, Fernandes MS, Magalhães JR (1987) Estudo do balanço iônico na absorção de nutrientes no milho. **Pesqui Agropecu Bras** 22:331-337. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/14333/8244>>. Acesso 04 mar. 2020.

Silva RR, Carvalho ISB, Rocha SDF (2018) Transformações químicas e mineralógicas em mistura de rocha potássica e calcário submetida a processo térmico visando a liberação do potássio contido. **Tecnol em Metal Mater e Mineração** 15:369-376. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20181473>.

Teixeira MAS, Sampaio JA, Garrido FMS, Medeiros ME (2012) Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos** 5:21-33.

Thomas D, Andrade RP de, Couto W, Rocha CMC da, Moore P (1981) *Andropogon gayanus* var. *Bisquamulatus* cv. Planautina: principais características forrageiras. **Pesqui Agropecu Bras** 16:347-355.

Willer H, Schlatter B, Trávníček J, Kemper L, Lernoud J (2020) The world of organic agriculture statistics and emerging trends. **Research Institute of Organic Agriculture**. Disponível em: <<https://shop.fibl.org/CHen/mwdownloads/download/link/id/1294/?ref=1>>. Acesso 04 mar. 2020.

CAPÍTULO 2 - Ação solubilizadora de pó de fonolito por poáceas usadas como plantas de cobertura e efeito nas formas de potássio do solo

RESUMO - Plantas de cobertura podem ser usadas para acelerar o processo de solubilização de adubos de baixa solubilidade. Deste modo, o objetivo com este trabalho foi avaliar o potencial de poáceas de cobertura em solubilizar potássio (K) de pó de fonolito, bem como as alterações nas formas do nutriente no solo em função das espécies e do produto. A pesquisa foi conduzida em casa de vegetação utilizando, em vasos, Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso coletado da camada de 0-20 cm. Foram combinados, em esquema fatorial (2x5), duas doses de pó de fonolito equivalentes a 0 e 8 t ha⁻¹, com quatro espécies de poáceas, mais um tratamento sem planta, em delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições. As espécies avaliadas foram *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus* e *Brachiaria humidicola*. Foi avaliada a produção de matéria seca da parte aérea das plantas aos 40 e 70 dias após a emergência e, em seguida, foi determinada a concentração e o acúmulo de K nas amostras. Do solo de cada unidade experimental, após o último corte das plantas, foi feita amostragem para determinação dos teores trocável, não trocável, estrutural e total de K. A aplicação de 8 t ha⁻¹ do pó de fonolito proporcionou aumento na produção de matéria seca e no acúmulo de K na parte aérea das plantas, com exceção para *A. gayanus*. Ao final do experimento, os teores de K não trocável, estrutural e total do solo sem planta também estavam maiores. As espécies tiveram comportamento diferente em relação à produção de matéria seca e acúmulo do nutriente; causaram diminuição nos teores de K trocável e total do solo e não apresentaram efeito nas formas não trocável e estrutural. Foi observado efeito de solubilização de K do pó de fonolito por *B. decumbens*.

Palavras-Chave: fertilidade do solo, potássio, pó de rocha, solubilidade

2.1 Introdução

A aplicação de pó de rocha na agricultura tem sido estudada como forma alternativa de adubação potássica em países da África e da Europa (Manning, 2010). No Brasil, a utilização de pós de rochas constituídas por grande quantidade de minerais que contêm K visa reduzir o custo, aumentando a sustentabilidade da produção agrícola, uma vez que, aproximadamente 94% do fertilizante potássico consumido é importado (Silva et al., 2018).

Os minerais mais ricos em K e, portanto, com potencial de serem utilizados na agricultura na forma de pó de rocha, são os feldspatos potássicos, micas, vermiculitas

e ilitas. O desafio no uso desses materiais é viabilizar seu emprego direto como fonte do nutriente às plantas, visto a sua baixa solubilidade, o que atualmente limita o seu uso como adubo potássico no Brasil (Ribeiro et al., 2010).

Uma estratégia que pode ser usada para acelerar a solubilização de fontes minerais de baixa solubilidade é o cultivo de plantas com ação solubilizadora. As plantas têm capacidade de modificação química da rizosfera, tanto por liberação de íons H^+ e OH^- em função do balanço eletroquímico, quanto pela exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular como oxalatos, citratos e malatos, que induzem a dissolução de minerais primários silicatados, como os feldspatos potássicos (Silva et al., 1987; Landeweert et al., 2001).

Esse potencial das plantas de induzir intemperismo em rochas e minerais silicatados de potássio, liberando o nutriente prontamente disponível para absorção em questão de dias, vem sendo estudado há algumas décadas. No entanto, como visto, esse processo ocorre com eficiência na rizosfera, portanto, depende da planta para ocorrer em curto prazo (Hinsinger et al., 2001; Landeweert et al., 2001).

Desta forma, se sustenta a ideia de que produtos de baixa solubilidade como pós de rocha, podem ser recomendados para sistemas de produção em que há cultivo de plantas de cobertura. Essas espécies, de modo geral, mantêm sua capacidade solubilizadora de minerais pela liberação de ácidos orgânicos e enzimas porque não passaram por processo de melhoramento genético em ambientes adubados com fontes solúveis de nutrientes (Menezes-Blackburn et al., 2018).

Nas áreas com cultivo de plantas de cobertura a aplicação do pó de rocha deve ser feita à lanço antes da semeadura e incorporado ao solo, para aproveitar o potencial solubilizador dessas plantas, e o benefício para a cultura principal virá da liberação rápida do K acumulado na matéria seca (MS), que será depositada sobre o solo após a dessecação (Menezes-Blackburn et al., 2018). Ao efeito de curto prazo soma-se a expectativa de liberação de K em médio e longo prazos, caracterizando o efeito residual típico de produtos de baixa solubilidade (Manning et al., 2017).

Tanto as plantas quanto a aplicação do pó de rocha alteram as formas e a quantidade de K em cada reservatório do solo. No caso das plantas, os efeitos ocorrem pela solubilização e pela absorção (Ribeiro et al., 2010). O pó de rocha, por sua vez, tende a aumentar os teores de K trocável, não trocável, estrutural e total do

solo, devido à presença dessas formas em seus minerais constituintes, além de pequena quantidade de K solúvel em ácido cítrico, que pode aumentar a forma trocável do solo e servir de suprimento para a nutrição das plantas (Gonçalves et al., 2013).

Assim, admitindo-se que da seleção de espécies de plantas com ação solubilizadora pode haver aumento da eficiência no uso de fontes de baixa solubilidade, o objetivo com este trabalho foi avaliar o efeito de espécies de poáceas de cobertura na solubilização de pó de fonolito, bem como, as alterações nas formas do nutriente no solo em função das espécies e do produto.

2.2 Material e métodos

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Campus de Jaboticabal, entre setembro de 2019 e fevereiro de 2020. Foi utilizado, em vasos, Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa, coletado da camada de 0 a 20 cm de área anteriormente cultivada com pinus.

Foram combinados, em esquema fatorial (2x5), duas doses de pó de fonolito, equivalentes a 0 e 8 t ha⁻¹, com quatro espécies de poáceas, *Brachiaria ruziziensis*, *Brachiaria decumbens*, *Andropogon gayanus* e *Brachiaria humidicola*, mais um tratamento sem planta (controle), em delineamento inteiramente ao acaso com quatro repetições.

O solo coletado para preenchimento dos vasos foi seco ao ar, passado em peneira de 6 mm, rigorosamente homogeneizado e amostrado para caracterização química, segundo métodos descritos em Raij et al. (2001). Os resultados obtidos foram: pH (CaCl₂) = 3,8; MO = 34 g dm⁻³; P-resina = 12 mg dm⁻³; K = 1,4 mmol_c dm⁻³; Ca = 6 mmol_c dm⁻³; Mg = 2 mmol_c dm⁻³; (H+Al) = 85 mmol_c dm⁻³; Al = 12 mmol_c dm⁻³; SB = 9 mmol_c dm⁻³; CTC = 94 mmol_c dm⁻³; V% = 10.

O produto utilizado como fonte de K foi o pó da rocha fonolito extraída dos planaltos de Poços de Caldas, MG, Brasil. O produto foi analisado, obtendo-se 15,9% de K₂O total por digestão perclórico-fluorídrica completa (Helmke e Sparks, 1996) e,

aproximadamente 0,1% de K_2O solúvel em ácido cítrico 2% na relação 1:100, de acordo com o método oficial para análise de fertilizantes descrito em Alcarde (2009).

A capacidade de retenção de água do solo foi determinada empregando-se cilindros de metal preenchidos com solo seco e colocados em recipiente com água até a saturação. Após escoamento da água gravitacional, e conhecida a massa do solo seco e na capacidade de campo, foi determinada a retenção total de água do solo, para ser utilizado o valor correspondente a 50% desta capacidade no manejo de irrigação das plantas.

A densidade do solo ($d = 1,26$) foi determinada pela média obtida da pesagem de três volumes de 1 dm^3 medidos em proveta. Massas equivalentes a $2,7\text{ dm}^3$ de solo que, ocupar-se-iam cada vaso, foram pesadas e transferidas para sacos de plástico para serem posteriormente misturadas aos corretivos de acidez e ao pó do fonolito.

Com base na análise química do solo foram calculadas e pesadas as quantidades de 2,988 g por vaso de $CaCO_3$ p.a. e 1,45 g por vaso de $4MgCO_3.Mg(OH)_2.5H_2O$ p.a., para elevar o índice de saturação por bases do solo a 40%, mantendo relação Ca:Mg de 2:1. Na sequência, 10,8 g por vaso do pó de fonolito, equivalente a 8 t ha^{-1} também foi pesada. Os produtos foram previamente misturados a 80 cm^3 de solo de seu respectivo tratamento, para garantir maior homogeneidade da mistura final.

Após vigorosamente misturado ao restante do solo, todo o volume foi transferido para vasos de alumínio com capacidade para 3,4 litros, cobrindo-se os orifícios do fundo com tela de plástico para evitar perdas do solo tratado. As dimensões dos vasos utilizados eram de: 18 x 13 x 18 cm, sendo, diâmetro superior, inferior e altura, respectivamente.

No momento da instalação do experimento, do volume total de água calculado para os 50% da capacidade de retenção, 100 mL foram subtraídos para serem adicionados posteriormente com a solução de nutrientes usada na adubação das plantas. Do volume restante, aplicou-se $\frac{2}{3}$ no prato colocado na base do vaso para umedecer o solo por capilaridade, evitando compactação excessiva, e o $\frac{1}{3}$ restante, foi aplicado sobre o solo.

Na sequência, foram aplicados os 100 mL da solução de nutrientes como forma de adubação contendo 100 mg dm^{-3} de N; 80 mg dm^{-3} de P; 20 mg dm^{-3} de S; $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn; $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu; $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B; e $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mo. As fontes utilizadas foram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 e $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Após a aplicação da solução, o solo foi mantido em incubação por sete dias com os vasos cobertos por papel, e a reposição da água foi feita sempre que as perdas por evaporação foram maiores do que 50 mL.

Findo o período de incubação, as sementes foram semeadas a 5 mm de profundidade, mantendo os vasos cobertos até a emergência das plântulas. O desbaste foi realizado entre 6 e 8 dias após a emergência, mantendo quatro plantas por vaso. Durante o período de crescimento foram realizadas duas adubações de cobertura, aos 30 e 60 dias após a emergência, com 100mL de solução contendo 100 mg dm^{-3} de N-ureia. A reposição da água seguiu o mesmo padrão adotado durante a incubação, porém com maior frequência devido à evapotranspiração.

Foram realizados dois cortes da parte aérea das plantas, aos 40 e 70 dias após a emergência, sendo o primeiro a 10 cm de altura em relação à base das plantas e, o segundo, rente ao solo. O material vegetal foi lavado em água não deionizada, solução de detergente neutro 1 mL L^{-1} e água deionizada, na sequência.

A secagem foi feita em estufa a 65 a 70°C até peso constante, para obtenção da MS produzida. Após seco, o material foi moído em moinho de aço-inox e as amostras incineradas para determinação de K no tecido, segundo Carmo et al. (2000). Com base na MS e na concentração de K foi obtido o K acumulado na parte aérea das plantas.

Após o último corte das plantas, o solo foi retirado dos vasos e passado em peneiras de 4 e 2 mm em sequência para separação das raízes, rigorosamente homogeneizado, e amostrado para determinação de K trocável, K não trocável e K total, usando os extratores NH_4Cl 1 mol L^{-1} (Raij et al., 2001), HNO_3 1 mol L^{-1} a quente e digestão perclórico-fluorídrica (Helmke e Sparks, 1996), respectivamente.

Foi considerado como sendo K não trocável o teor obtido com ácido nítrico, subtraído do obtido com cloreto de amônio (trocável), e como K estrutural, o teor total de K do solo subtraídos os teores trocável e não trocável (Helmke e Sparks, 1996).

A solubilização de K por ação das espécies foi definida com base em cálculos levando em consideração a quantidade de K disponível total no sistema ao final do experimento, representado pelo K trocável remanescente no solo mais o K acumulado pelas plantas.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, em caso de efeito significativo dos fatores isolados ou da interação, as médias foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Ainda, foi realizada análise de correlação entre K acumulado, K não trocável e K estrutural para verificar a habilidade das espécies em absorver o nutriente de formas pouco solúveis do solo.

2.3 Resultados

Na Tabela 1 estão apresentadas as médias de produção de MS, o K acumulado nas plantas e os teores de K no solo, em função das doses do pó de fonolito e das espécies cultivadas.

Tabela 1. Médias de matéria seca (MS) da parte aérea, K acumulado e formas de potássio no solo, em função das doses do pó de fonolito e das espécies de poáceas utilizadas.

Doses de fonolito	Planta		Solo			
	MS parte aérea	K acumulado	K trocável	K não trocável	K estrutural	K total
(t ha ⁻¹)	(g por vaso)	(mg por vaso)	(mg kg ⁻¹)			
0	26,52	118,47 b	14,57	28,89 b	1053,55 b	1097 b
8	31,29	175,81 a	19,39	38,22 a	1184,45 a	1242 a
Espécies						
Sem planta	-	-	50,68	31,48	1218	1300 a
<i>B. decumbens</i>	33,88	163,25	8,80	34,70	1124	1167 b
<i>B. humidicola</i>	28,35	156,21	5,87	34,64	1082	1123 b
<i>B. ruziziensis</i>	27,51	141,05	11,73	32,27	1076	1120 b
<i>A. gayanus</i>	25,88	128,05	7,82	34,68	1095	1138 b
Doses	75,61**	109,97**	96,40**	41,03**	14,51**	17,42**
Espécies	40,09**	8,29**	1197,45**	0,92 ^{NS}	2,31 ^{NS}	3,76*
Doses x Esp.	8,02**	1,39 ^{NS}	48,78**	2,08 ^{NS}	0,07 ^{NS}	0,07 ^{NS}
CV (%)	5,4	10,5	9,1	13,7	9,7	9,4

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Teste F: ^{NS} não significativo; * significativo a 5%; ** significativo a 1%. (CV) coeficiente de variação.

A produção de MS foi diferente em função da aplicação do pó de fonolito e das espécies cultivadas (Figura 1). A maior produção foi observada para *B. decumbens*, tanto na dose 0, quanto na dose de 8 t ha⁻¹, em relação às outras espécies. No entanto, a aplicação de 8 t ha⁻¹ proporcionou aumento de MS para todas as espécies, exceto para *A. gayanus*.

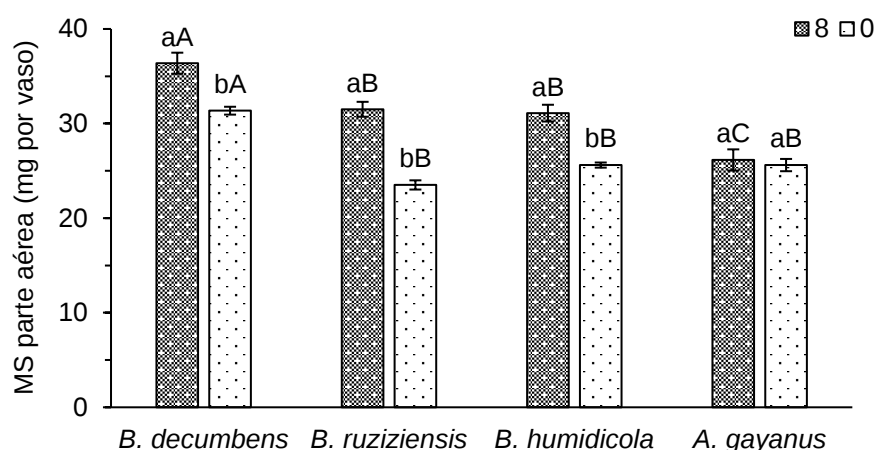


Figura 1. Médias de matéria seca (MS) produzida por quatro espécies de poáceas em função de doses (0 e 8 t ha⁻¹) de pó de fonolito. Letras minúsculas comparam médias entre doses e maiúsculas entre espécies, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade.

Para o K acumulado na parte aérea das plantas não houve interação entre as doses do pó de fonolito e as espécies cultivadas. No entanto, as plantas acumularam mais K na parte aérea com a aplicação de 8 t ha⁻¹ (Tabela 1). Entre as espécies, observa-se na Figura 2 que *B. decumbens* acumulou mais K em seus tecidos que *B. ruziziensis* e *A. gayanus*, porém não se diferenciou de *B. humidicola*. As menores quantidades de K acumulado na MS da parte aérea foram encontradas nas espécies *B. ruziziensis* e *A. gayanus*.

Para os teores de K no solo, houve efeito da interação entre doses e espécies somente para o K trocável remanescente após o corte das plantas. No tratamento sem planta a aplicação do pó de fonolito aumentou o teor de K trocável pré-existente do solo (Figura 3). Entretanto, na presença das plantas restaram baixíssimos teores deste elemento no solo, independentemente da aplicação do produto, para a maioria

das espécies. Somente para a *B. humidicola* restou maior teor de K trocável no solo com a dose 8 t ha⁻¹.

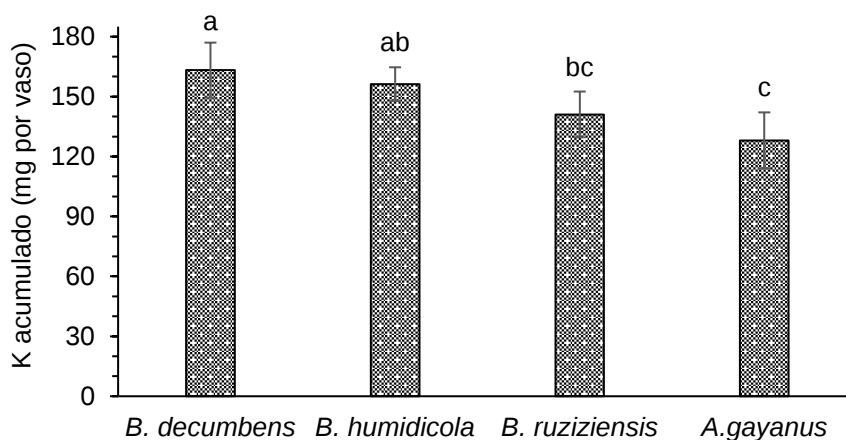


Figura 2. Médias de K acumulado na parte aérea das espécies utilizadas como plantas de cobertura.

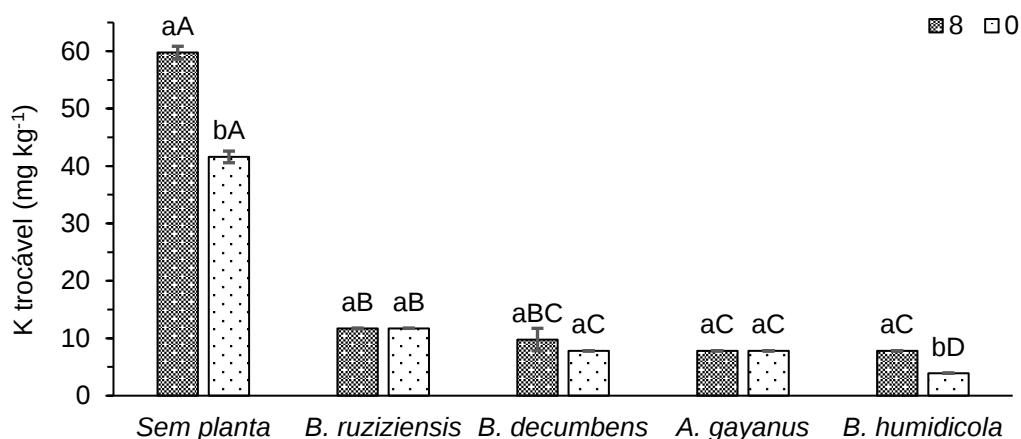


Figura 3. Médias de K trocável remanescente no solo em função das espécies cultivadas e doses (0 e 8 t ha⁻¹) de pó de fonolito. Letras minúsculas comparam médias entre doses e maiúsculas entre espécies, pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade.

As formas de K não trocável, estrutural e total do solo aumentaram com a aplicação do pó de fonolito, porém somente a forma total foi alterada em função das plantas. Como pode ser observado na Tabela 1, os teores de K total do solo

diminuíram nas condições em que houve crescimento de plantas no sistema, mas não houve efeito das espécies.

A Figura 4 apresenta o potencial das plantas em solubilizar K do pó de fonolito durante o período de cultivo. Com a aplicação da dose de 8 t ha⁻¹ observou-se que o teor de K no sistema ao final do experimento estava maior onde se cultivou *B. decumbens* do que para as outras espécies, em relação ao tratamento controle. Na dose 0 não foi observada diferença entre os resultados para nenhuma das espécies cultivadas.

Contabilizando o total de K disponível no sistema após o cultivo de *B. decumbens* na dose 8 t ha⁻¹, se obteve 68,02 mg kg⁻¹, enquanto que no solo sem cultivo de planta, somente com a aplicação do pó de fonolito, foram obtidos 59,78 mg kg⁻¹. A diferença equivale a 25 kg ha⁻¹ de K₂O disponibilizados a mais no sistema em função do cultivo desta espécie na dose de 8 t ha⁻¹ do produto, em 70 dias de crescimento.

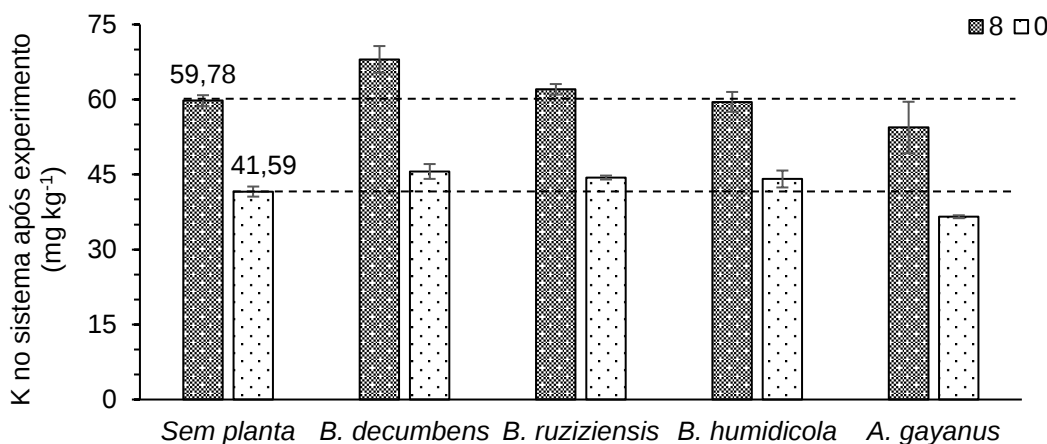


Figura 4. K disponível total no sistema após o experimento em função das espécies cultivadas e da aplicação de 0 e 8 t ha⁻¹ do pó de fonolito.

2.4 Discussão

Considerando as condições de duração e de baixa disponibilidade de K no solo do experimento segundo critérios de Raij et al. (1997), o aumento de produção de MS pela maioria das espécies está relacionado ao fornecimento de K pela aplicação do

pó de fonolito, mesmo sendo uma fonte de baixa solubilidade. As plantas forrageiras apresentam baixo potencial de resposta à adubação potássica, porém, segundo Coutinho et al. (2004), isso ocorre quando no solo existem teores médios a altos de K. Caso contrário, a produção de MS das poáceas de cobertura é aumentada com o fornecimento de K, como mostrado na Figura 1.

O K acumulado na parte aérea das plantas seguiu o mesmo conceito de disponibilidade no solo. Assim, o fornecimento de K em condições de solos com baixos teores do nutriente proporciona aumento do K acumulado pelas poáceas, como *B. decumbens* (Andrade et al., 1997), *B. ruziziensis* (Rosolem et al., 2012) e *B. humidicola* (Costa et al., 2008), espécies avaliadas neste trabalho (Figura 2).

O K trocável se refere aos íons de K^+ adsorvidos por ligações eletrovalentes às cargas negativas de superfície dos coloides minerais ou orgânicos do solo (Medeiros et al., 2014), que recompõem o equilíbrio com o K da solução, de onde as plantas o absorvem. Estes íons estão, portanto, disponíveis às plantas. Com isso, o aumento desta forma observado na Figura 3 pela aplicação do pó de fonolito, mostra que o teor de K solúvel em ácido cítrico (2%) do produto é capaz de aumentar o K trocável do solo.

As plantas também alteram as formas de K disponíveis no solo pela absorção. O comportamento observado das plantas em diminuir o K trocável do solo de maneira sistemática, mesmo com aplicação de 8 t ha^{-1} do pó de fonolito (Figura 3), está relacionado a alta mobilidade deste elemento no solo, a alta exigência das espécies e aos baixíssimos teores de reserva desse nutriente para o tipo de solo do presente estudo (Rosolem et al., 2012).

O aumento das formas de K não trocável e estrutural do solo em função da aplicação do pó de fonolito (Tabela 1) está relacionado à presença de minerais que contêm estas formas de K. O K não trocável e o estrutural estão contidos nas entrecamadas e nas estruturas cristalinas de minerais, principalmente do grupo das micas e dos feldspatos, respectivamente (Chaves et al., 2015). Assim, o K total do solo, que se constitui da soma das formas trocáveis, não trocáveis e estruturais, também deve aumentar com a aplicação do pó da rocha.

Como não houve alteração das formas não trocáveis e estruturais de K no solo por ação das espécies utilizadas neste experimento (Tabela 1), a diminuição nos

teores de K total do solo na presença das plantas, está estritamente, de acordo com os resultados do trabalho, ligada à diminuição dos teores trocáveis pela absorção das plantas, sem diferença para nenhuma das espécies.

O efeito solubilizador que as plantas podem exercer na região da rizosfera é atribuído à liberação de íons H^+ e ácidos orgânicos, que aumentam a acidez do meio e induzem a dissolução de minerais ali presentes (Landeweert et al., 2001; Manning et al., 2017). O efeito observado para a *B. decumbens* (Figura 4) pode estar relacionado com a característica estratégica que essa espécie tem de se adaptar às diversas condições de ambiente e fertilidade, alterando as condições da rizosfera (Hartwig et al., 2007).

Logo, as formas não trocáveis e estruturais de K contidas no pó do fonolito podem sofrer instabilidade na rizosfera dessa planta, devido às condições de acidez por ela proporcionada e aos ácidos orgânicos e polifenóis liberados (Hartwig et al., 2007). A correlação encontrada neste trabalho entre o acúmulo de K pela *B. decumbens* e as formas de K não trocável e estrutural no solo, representada respectivamente pelos valores de $r = 0,85^{**}$ e $0,68^{**}$ a 1% de probabilidade, mostram a habilidade que esta espécie tem de absorver K dessas formas em solo com a aplicação de fonolito.

Alguns autores sugerem que o K não trocável é instável e pode manter equilíbrio com o K da solução do solo pelo aumento da acidez; que os feldspatos potássicos podem sofrer dissolução pela reação com ácidos orgânicos exsudados pelas plantas; e que as espécies com ação solubilizadora podem então absorver o K liberado e acumulá-lo em seus tecidos (Landeweert et al., 2001; Chaves et al., 2015; Manning et al., 2017).

Desta maneira, pela aplicação de fontes que contenham estas formas de K na presença de plantas rústicas como a *B. decumbens*, pode ser observado aumento de K no sistema derivado desse efeito de solubilização, como mostrado na Figura 4. O efeito observado somente nos tratamentos em que houve a aplicação do pó de fonolito, indica que o aumento na concentração das formas pouco solúveis de K no solo, aumenta o contato com a rizosfera da planta e maior é a quantidade solubilizada e absorvida.

Portanto, sendo os Latossolos extremamente pobres em minerais que contêm K, tendo pequena concentração destes nas frações mais grosseiras como a areia (Manning et al., 2017), o contato destas partículas com os ácidos do solo e com as raízes das plantas é pequeno, não se observando os efeitos para os minerais do solo na dose 0, como apresentado neste trabalho.

Há relatos na literatura de aumento de K não trocável e estrutural no solo com a aplicação de pó de fonolito (Gonçalves et al., 2013); de benefício da aplicação de pó de fonolito e de outras rochas que contêm potássio na nutrição de *Brachiaria brizantha* e no residual de K no solo devido às formas do elemento presentes nas rochas (Martins et al., 2013).

Ainda, é relatado efeito solubilizador de minerais de feldspato potássico por plantas de alho poró cultivadas em areia lavada, com aplicação de pó de sienito e flogopito (rochas potássicas), provando que, mesmo crescendo em outro substrato que não o solo, as plantas liberam ácidos orgânicos e solubilizam K de fontes pouco solúveis em ambientes com baixa disponibilidade do mesmo (Manning et al., 2017).

2.5 Conclusões

A aplicação do pó de fonolito aumenta a MS e o K acumulado na parte aérea de espécies de poáceas.

No solo, o pó de fonolito aumenta os teores de K trocável, não trocável, estrutural e total.

As poáceas cultivadas não afetam as formas de K não trocável e K estrutural do solo, porém diminuem o K total.

A *Brachiaria decumbens* solubiliza K do pó de fonolito, e assim, promove aumento de K disponível no sistema em relação ao cultivo das outras espécies.

Referências

Alcarde JC (2009) Manual de análise de fertilizantes. Piracicaba: FEALQ, 259p.

Andrade JB, Coutinho Filho JLV, Justo C, Perez R, Ferrari Junior E, Paulino V, Mattos H (1997) Nitrogênio e potássio na produção e composição da forragem de *Brachiaria decumbens* Stapf. **ARS Vet.** 268-274.

Carmo CAFS, Araujo WS, Bernardi ACC, Saldanha MFC (2000) **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. EMBRAPA, Rio de Janeiro.

Chaves E, Pedron FA, Melo VF, Dalmolin RSD (2015) Reserva mineral de K por diferentes métodos em argissolos subtropicais. **Rev Bras Ciênc Solo** 39:1088–1099. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140670>.

Costa NL, Paulino VT, Magalhães JA, Townsend CR, Pereira RGA (2008) Resposta de *Brachiaria humidicola* à níveis de potássio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ZOOTECNIA. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/106206/1/ztc2008-003-0016.pdf>. Acesso 04 mar. 2020.

Coutinho ELM et al (2004) Adubação potássica em forrageiras. In: Pedreira CGS, Moura JC, Faria VP (ed) Fertilidade do solo para pastagens produtivas, FEALQ, Piracicaba, p. 219-277.

Gonçalves ASF, Martins V, Leite MCA, Muilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fracionamento de potássio em solos adubados com fontes alternativas. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113792/1/34261.pdf>. Acesso 04 mar. 2020.

Hartwig I, Oliveira AC de, Carvalho FIF de, Bertan I, Silva JAG da, Schmidt DAM, Valério IP, Maia LC, Fonseca DAR, Reis CES dos (2007) Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semin Ciências Agrárias** 28:219-228.

Helmke PA, Sparks DI (1996) Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: Sparks DL et al (eds) Methods of soil analysis, Part 3 – Chemical methods. **Soil Science Society of America**, Madison, pp 551-574.

Hinsinger P, Barros ONF, Benedetti MF, Noack Y, Callot G (2001) Plant-induced weathering of a basaltic rock: experimental evidence. **Geochim Cosmochim Acta** 65:137-152. [http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(00\)00524-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(00)00524-X).

Landeweert R, Hoffland E, Finlay RD, Kuyper TW, Breemen N (2001) Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends Ecol Evol** 16:248-254. [http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347\(01\)02122-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5347(01)02122-X).

Manning DAC (2010) Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **Agron Sustain Dev** 30:281-294. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>.

Manning DAC, Baptista J, Limon MS, Brandt K (2017) Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Sci Total Environ** 574:476-481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.086>.

Martins V, Gonçalves AS, Leite MCA, Guilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fontes alternativas de potássio para a nutrição da *Brachiaria brizantha* cv Marandu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Resumos expandidos** Florianópolis: CBCS, p. 1-4.

Medeiros JS, Oliveira FHT, Santos HC, Arruda JA, Vieira MS (2014) Formas de potássio em solos representativos do Estado da Paraíba. **Rev Ciênc Agron** 45:417-426. <https://doi.org/10.1590/S1806-66902014000200025>.

Menezes-Blackburn D, Giles C, Darch T et al (2018) Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. **Plant Soil** 427:5-16.

Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC, 285p.

Raij B van, Cantarella H, Quaggio JÁ, Furlani AMC (Eds) (1997) Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. Campinas: IAC, 285p.

Ribeiro LS, Santos AR, Souza LFS, Souza JS (2010) Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev Bras Ciênc Solo** 34:891-897. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832010000300030>.

Rosolem CA, Vicentini JPTMM, Steiner F (2012) Suprimento de potássio em função da adubação potássica residual em um Latossolo Vermelho do Cerrado. **Rev Bras Ciênc Solo** 36:1507–1515. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832012000500015>.

Silva FLIM, Fernandes MS, Magalhães JR (1987) Estudo do balanço iônico na absorção de nutrientes no milho. **Pesqui Agropecu Bras** 22:331-337. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/14333/8244>>. Acesso 04 mar. 2020.

Silva RR, Carvalho ISB, Rocha SDF (2018) Transformações químicas e mineralógicas em mistura de rocha potássica e calcário submetida a processo térmico visando a liberação do potássio contido. **Tecnol em Metal Mater e Mineração** 15:369-376. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20181473>.

CAPÍTULO 3 - Solubilização de pó de fonolito por *Brachiaria decumbens* em função da acidez e reflexos em atributos químicos do solo

RESUMO – O uso agrícola de pó de rocha pode disponibilizar potássio (K) por ação solubilizadora das plantas e, ainda, alterar atributos químicos do solo. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a solubilização de K de pó de fonolito pela *Brachiaria decumbens* em função da acidez do solo, bem como, o reflexo da aplicação deste produto em atributos químicos do solo. O experimento foi conduzido em casa de vegetação utilizando Latossolo Vermelho distroférico típico argiloso coletado da camada de 0-20 cm. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (2x5), combinando elevação da saturação por bases do solo (V) a 40 e 60% e aplicações equivalentes a 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de pó de fonolito, em quatro repetições. Foi avaliada a produção de matéria seca (MS) da parte aérea das plantas aos 40 e 70 dias após a emergência e, em seguida, foi determinada a concentração e o acúmulo de K nas plantas. Foi realizada amostragem de solo de cada unidade experimental após o último corte das plantas para determinação dos teores de K trocável, não trocável, estrutural e total do solo, e também para determinação dos valores de pH e de CTC. Foi observado maior teor de K não trocável no solo com o pó de fonolito na condição de menor acidez (V=60%), indicando menor solubilização destas formas de K presentes no fonolito. A calagem para V de 60% também diminuiu sensivelmente a produção de MS da *B. decumbens*. A aplicação das doses do pó de fonolito proporcionou aumento de MS e acúmulo de K nas plantas de *Brachiaria*. No solo, as doses de pó de fonolito aumentaram os teores de K não trocável, estrutural e total, mas não interferiram nos valores de pH e de CTC. A *B. decumbens* teve ação solubilizadora em relação ao pó de fonolito proporcionando aumento de K no sistema para as doses 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹, independente da condição de acidez do solo.

Palavras-Chave: adubação, fertilidade do solo, potássio, pó de rocha, solubilidade

3.1 Introdução

O uso agrícola de rochas moídas vem sendo estudado como forma alternativa ou complementar de adubação potássica, visando reduzir o custo de produção e aproveitar matérias primas abundantes no Brasil. Esta técnica de aplicação de pó de rocha ao solo tem despertado interesse de pesquisadores em busca de alterar positivamente a fertilidade dos solos, sem afetar o equilíbrio do ambiente, e diminuir a dependência de cloreto de potássio importado, aumentando a sustentabilidade da produção (Gonçalves et al., 2013; Moretti et al., 2019).

Diversas rochas como ultramáfica alcalina, brecha piroclástica, flogopito, verdete e fonolito vêm sendo estudadas quanto ao potencial de fornecimento de K às plantas e a alterações de atributos químicos do solo. Estas rochas apresentam, em sua composição, minerais primários e secundários que contêm K em suas estruturas ou o retêm de forma específica. Portanto, sua aplicação pode aumentar os teores de K trocável, não trocável, estrutural e total do solo (Ribeiro et al., 2010; Gonçalves et al., 2013; Martins et al., 2014).

Além disso, estudos com a aplicação desses pós de rocha têm sido realizados com intuito de verificar se há efeito na capacidade de troca de cátions (CTC) e no pH do solo, devido à presença significativa de minerais que contêm cargas de superfície, e quantidades variadas de carbonatos em sua composição, respectivamente (Martins et al., 2014).

O fonolito, material avaliado no presente estudo, é uma rocha silicatada de origem ígnea dos planaltos de Poços de Caldas, MG. É composta principalmente por minerais de feldspato de potássio como ortoclásios e microclinas, os quais têm potencial para aplicação na agricultura devido aos altos teores totais de K (Martins, 2013). O desafio no uso dos pós de rocha é viabilizar seu emprego direto como fertilizantes, devido à baixa solubilidade de seus minerais no solo (Ribeiro et al., 2010).

De modo geral, pela característica de solubilidade, admite-se que os efeitos do pó de rocha ocorram em longo prazo. Porém, a exemplo do que ocorre com os calcários e fosfatos naturais, a solubilidade dos pós de rochas ricos em feldspatos de potássio aumenta com o aumento da acidez do solo, ou com o uso simultâneo de uma fonte geradora de acidez, como as plantas (Landeweert et al., 2001).

As plantas têm capacidade de modificar a rizosfera, deixando a região da interface solo-raiz quimicamente diferente do restante do solo, pela liberação de íons de H^+ ou OH^- em função da absorção de nutrientes, ou pela exsudação de ácidos orgânicos, principalmente por espécies rústicas, como estratégia de adaptação ao meio. A acidificação da rizosfera e a ação dos ácidos orgânicos induzem a dissolução de minerais silicatados de potássio nessa região (Silva et al., 1987; Landeweert et al., 2001).

A *Brachiaria decumbens* é uma espécie rústica de Poacea recomendada como planta de cobertura por ter característica de ampla adaptabilidade às mais adversas

condições de ambiente. Esta característica está condicionada à capacidade de modificação rizosférica pela exsudação de ácidos orgânicos de baixo peso molecular e polifenóis como estratégia de adaptação a ambientes de baixa fertilidade (Hartwig et al., 2007).

Nesse sentido, a aplicação do pó de rocha deve ser recomendada à lanço e incorporada ao solo antes do plantio da *B. decumbens*, para aproveitar seu potencial solubilizador. Uma vez solubilizado e absorvido, o K acumulado na matéria seca será reciclado após a morte das plantas e poderá beneficiar a cultura principal em sucessão (Menezes-Blackburn et al., 2018).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de *Brachiaria decumbens* em solubilizar K de pó de fonolito em função da acidez do solo, bem como, o efeito de doses deste produto em atributos químicos do mesmo.

3.2 Material e métodos

A pesquisa foi desenvolvida em condições de casa de vegetação na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Campus de Jaboticabal, entre março e julho de 2020. Foram utilizadas, em vasos, amostras de Latossolo Vermelho distroférico típico de textura argilosa, coletado da camada de 0 a 20 cm de área anteriormente ocupada com pinus.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial (2x5) com quatro repetições. No fatorial foram combinados calagem para elevar a saturação por bases do solo (V) a 40 e 60% e aplicações equivalentes a 0, 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹ de pó de fonolito.

O solo utilizado no preenchimento dos vasos do experimento foi seco ao ar, passado em peneira de 6 mm, rigorosamente homogeneizado e amostrado para caracterização química, de acordo com os métodos descritos em Raij et al. (2001). Os resultados obtidos foram: pH (CaCl₂) = 3,8; MO = 34 g dm⁻³; P-resina = 12 mg dm⁻³; K = 1,4 mmol_c dm⁻³; Ca = 6 mmol_c dm⁻³; Mg = 2 mmol_c dm⁻³; (H+Al) = 85 mmol_c dm⁻³; Al = 12 mmol_c dm⁻³; SB = 9 mmol_c dm⁻³; CTC = 94 mmol_c dm⁻³; V% = 10.

O produto utilizado como fonte de K foi o pó da rocha fonolito extraído dos planaltos de Poços de Caldas, MG, Brasil. O produto foi amostrado e analisado em

acompanhamento às amostras de solo, obtendo-se 15,9% de K_2O total por digestão perclórico-fluorídrica completa (Helmke e Sparks, 1996) e, aproximadamente, 0,1% de K_2O solúvel em ácido cítrico 2% na relação 1:100, de acordo com os métodos oficiais de análise de fertilizantes descrito em Alcarde (2009).

Foi determinada a capacidade de retenção de água do solo utilizando colunas de metal preenchidas com solo seco e colocadas em recipiente com água até a saturação. Logo após o escoamento da água gravitacional, conhecidas as massas de solo seco e na capacidade de campo, foi determinada a retenção total de água do solo, para ser utilizado o correspondente a 50% desta capacidade no manejo de irrigação das plantas.

A densidade do solo ($d = 1,26$) foi obtida pela média de pesagens da massa de três volumes de 1 dm^3 do solo medidos em proveta. A partir do valor de densidade, a massa de $2,7\text{ dm}^3$ de solo, correspondente à quantidade de solo utilizada em cada vaso, foi pesada e transferida para sacos de plástico para, posteriormente, ser misturada aos corretivos de acidez e ao pó do fonolito.

Com base na análise química do solo foram calculadas e pesadas as quantidades de $CaCO_3$ p.a. e $4MgCO_3 \cdot Mg(OH)_2 \cdot 5H_2O$ p.a. iguais a 2,988 e 1,45 g por vaso para elevar o índice de saturação por bases do solo a 40%, e de 4,9156 e 2,3851 g por vaso para elevar a 60% de acordo com cada tratamento, mantendo relação entre Ca e Mg de 2:1. Na sequência, foram calculadas e pesadas as doses do pó de fonolito de 0, 2,7; 5,4; 8,1 e 10,8 g por vaso, equivalentes a 0, 2, 4, 6 e 8 $t\text{ ha}^{-1}$.

Os produtos foram previamente misturados a 80 cm^3 de solo de seu respectivo tratamento para garantir maior homogeneidade da mistura final. Após misturado vigorosamente ao restante do solo, todo o volume foi transferido para vasos de alumínio com capacidade para 3,4 litros, de diâmetro superior e inferior e altura, iguais a 18, 13 e 18 cm, respectivamente. Foram cobertos os orifícios do fundo com tela de plástico para evitar perdas do solo tratado.

Na instalação do experimento, do volume total de água calculado para os 50% da capacidade de retenção, 100 mL foram subtraídos para serem adicionados posteriormente na forma de solução de nutrientes. Do volume restante, aplicou-se $\frac{2}{3}$ no prato colocado na base do vaso para umedecer o solo por capilaridade, evitando compactação excessiva, e o $\frac{1}{3}$ restante, foi aplicado sobre o solo.

Em seguida, foi aplicada a solução de nutrientes como forma de adubação para as plantas, contendo 100 mg dm^{-3} de N; 80 mg dm^{-3} de P; 20 mg dm^{-3} de S; $1,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de Zn; $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ de Cu; $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B; e $0,05 \text{ mg dm}^{-3}$ de Mo. As fontes utilizadas foram $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$, $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, H_3BO_3 e $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Após a aplicação da solução, o solo foi mantido em incubação por sete dias com os vasos cobertos com papel, e a reposição da água foi feita sempre que as perdas por evaporação foram maiores do que 50 mL.

Ao final do período de incubação, as sementes de *B. decumbens* foram semeadas a 5 mm de profundidade, mantendo os vasos cobertos até a emergência das plântulas. O desbaste foi realizado entre 6 e 8 dias após a emergência, mantendo quatro plantas por vaso. Durante o período de crescimento foram realizadas duas adubações de cobertura, aos 30 e 60 dias após a emergência, com 100 mL de solução contendo 100 mg dm^{-3} de N na forma de ureia. A reposição da água seguiu o mesmo padrão adotado durante a incubação, porém com maior frequência devido a evapotranspiração.

Foram realizados dois cortes da parte aérea das plantas, sendo o primeiro a 10 cm de altura da base aos 40 dias após a emergência, e o segundo, rente ao solo aos 30 dias após o primeiro. O material vegetal de ambos os cortes foi lavado em água não deionizada, seguida de solução de detergente neutro 1 mL L^{-1} e água deionizada. Em seguida foi colocado para secar em estufa a 65 a 70°C até massa constante, para obtenção da produção de matéria seca (MS).

Após seco, o material foi moído em moinho de aço-inox e as amostras foram incineradas para determinação de K total no tecido vegetal, segundo método descrito em Carmo et al. (2000). Com base na MS produzida e na concentração de K dos tecidos foi obtido, por cálculo, o K acumulado na parte aérea das plantas.

Após o último corte das plantas, o solo foi retirado dos vasos e passado em peneiras de 4 e 2 mm em sequência para separação das raízes, vigorosamente homogeneizado, e amostrado para determinação dos atributos químicos pH, acidez total (H+Al), e Ca, Mg e K trocáveis, pelos métodos descritos em Raij et al. (2001). Por cálculo foi obtido o valor de CTC.

O K do solo foi analisado utilizando-se os extratores NH_4Cl 1 mol L^{-1} (Raij et al., 2001) para K trocável, HNO_3 1 mol L^{-1} a quente para K não trocável e digestão

perclórico-fluorídrica para K total (Helmke e Sparks, 1996). Foi considerado como sendo K não trocável o teor obtido com ácido nítrico subtraído daquele obtido com cloreto de amônio (trocável). O K estrutural do solo foi calculado a partir do teor total menos os teores trocável e não trocável (Helmke e Sparks, 1996).

Com base nos dados obtidos durante o experimento, o K solubilizado pelas plantas foi determinado por meio de cálculo, e foi considerado como sendo o K acumulado a mais em relação ao absorvido do solo e do solúvel acrescentado pela aplicação do pó de fonolito.

Os dados foram submetidos a análise de variância pelo teste F, usando-se análise de regressão polinomial para estudo de efeito de doses, quando significativas. As médias referentes ao V% foram comparadas pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. Foi ainda, realizada análise de correlação do K acumulado pela *B. decumbens* com o K não trocável e estrutural no solo para verificar a habilidade da espécie em absorver o nutriente de formas pouco solúveis.

3.3 Resultados

Os resultados de análise de variância e as médias dos fatores estudados para a matéria seca de parte aérea, K acumulado, pH, CTC e formas de K do solo estão na Tabela 1.

O K acumulado na parte aérea das plantas, o K trocável após o experimento, o K estrutural e o K total não foram diferentes em função do V%. Já a produção de MS da parte aérea das plantas foi ligeiramente maior na condição de V% 40. O pH do solo após a colheita manteve-se maior na condição de calagem para elevação de V a 60%, e a CTC do solo variou em 3 mmol_c dm⁻³ para mais nessa condição.

As doses do pó de fonolito não tiveram qualquer efeito nos atributos químicos pH e CTC do solo, também, não interferiram no K trocável, o qual diminuiu em 81,9% em relação ao início do experimento devido a absorção pelas plantas. Com exceção do K não trocável, não foi observada interação entre os fatores estudados neste experimento para nenhuma das variáveis analisadas (Tabela 1).

Tabela 1. Médias das variáveis de planta e solo analisadas após experimento em que foram combinadas calagem (V%) e doses de pó de fonolito.

V%	Planta		Solo					
	Matéria seca ¹	K acumulado ¹	pH	CTC	K trocável	K não trocável	K estrutural	K total
	(g por vaso)	(mg por vaso)	(CaCl ₂)	(mmol _c kg ⁻¹)			(mg kg ⁻¹)	
40	31,42 a	138,62	4,5 b	68 b	7,82	35,38	1061	1104
60	30,43 b	136,80	5,0 a	71 a	7,82	38,38	1051	1097
Dose (t ha ⁻¹)								
0	26,80	110,40	4,7	70	7,82	32,18	933	973
2	29,82	125,95	4,7	70	7,82	32,68	1020	1060
4	31,95	140,09	4,7	70	7,82	35,68	1009	1053
6	32,79	150,92	4,7	69	7,82	38,68	1101	1148
8	33,29	161,19	4,7	68	7,82	45,18	1217	1270
V%	11,67**	0,48 ^{NS}	376,04**	33,12**	1,0 ^{NS}	16,46**	0,15 ^{NS}	0,07 ^{NS}
Dose	67,51**	46,33**	0,80 ^{NS}	2,17 ^{NS}	1,0 ^{NS}	41,45**	13,99**	15,28**
V% x Dose	2,33 ^{NS}	0,81 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,05 ^{NS}	1,0 ^{NS}	3,84*	0,12 ^{NS}	0,11 ^{NS}
CV (%)	2,95	6,06	1,60	2,59	0,02	6,34	7,74	7,44

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas não se diferenciam entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls a 5% de probabilidade. ** Significativo a 1% teste F; * significativo a 5% teste F; ¹ parte aérea da planta.

A produção de MS pelas plantas de *B. decumbens* (Figura 1), aumentou de forma quadrática à medida que foram elevadas as doses do pó de fonolito. É possível observar que em relação à dose 0, o aumento da produção foi significativo até a estabilização da curva, sendo intermediado pela dose de 6 t ha⁻¹, a qual, com base no erro padrão da média não se diferenciou das doses 4 e 8, respectivamente. O incremento na produção de MS foi da ordem de 11 a 24% em resposta às doses do produto.

A aplicação do pó de fonolito proporcionou aumento linear do K acumulado na parte aérea das plantas (Figura 2). À medida que as doses foram aumentando de 0 para 2, 4, 6 e 8 t ha⁻¹, o K acumulado no tecido vegetal teve aumento de 14, 27, 37 e 46%, respectivamente.

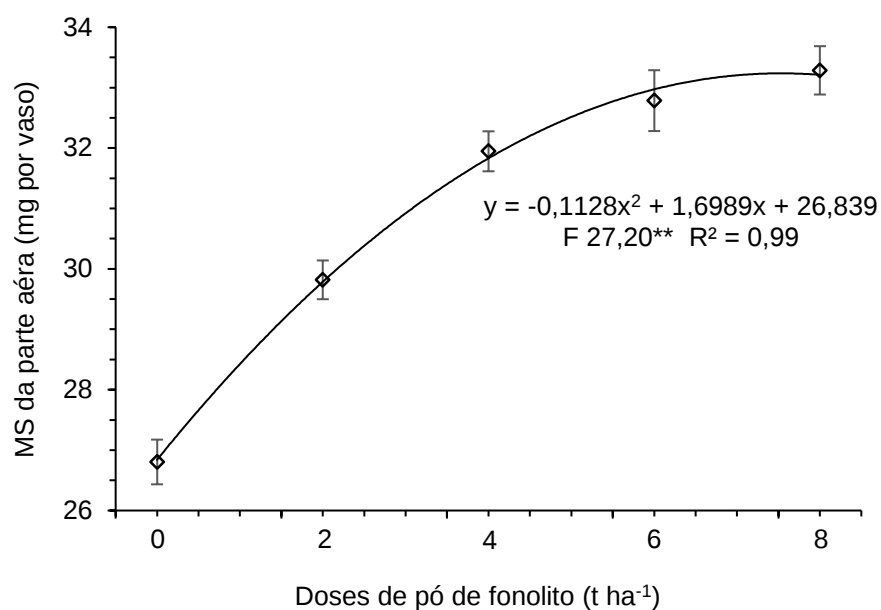


Figura 1. Efeito das doses do pó de fonolito na produção de matéria seca (MS) da parte aérea da *B. decumbens*. ** significativo a 1% de probabilidade.

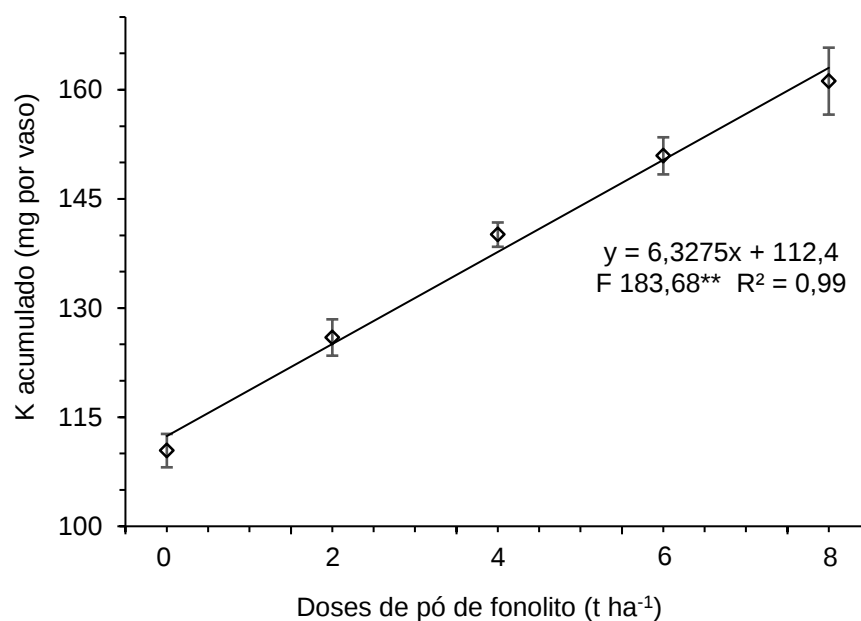


Figura 2. Efeito das doses do pó de fonolito no acúmulo de K pela parte aérea da *B. decumbens*. ** significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se que o comportamento do K não trocável na condição de V% 60 é ligeiramente mais acentuado (Figura 3), com coeficiente de determinação (R^2) mais

alto, iniciando diferença entre os resultados já na dose 6 t ha⁻¹. Na condição em que o V% foi elevado a 40 o R² foi menor, e a diferença só foi significativa com a aplicação da dose de 8 t ha⁻¹.

As doses do pó de fonolito alteraram os teores de K não trocável do solo de maneira diferente em função do V%. Observou-se que, em V% 40 os teores de K não trocável aumentaram somente pela aplicação da maior dose, já em V% 60 pela aplicação das doses de 6 e 8 t ha⁻¹ (Figura 3).

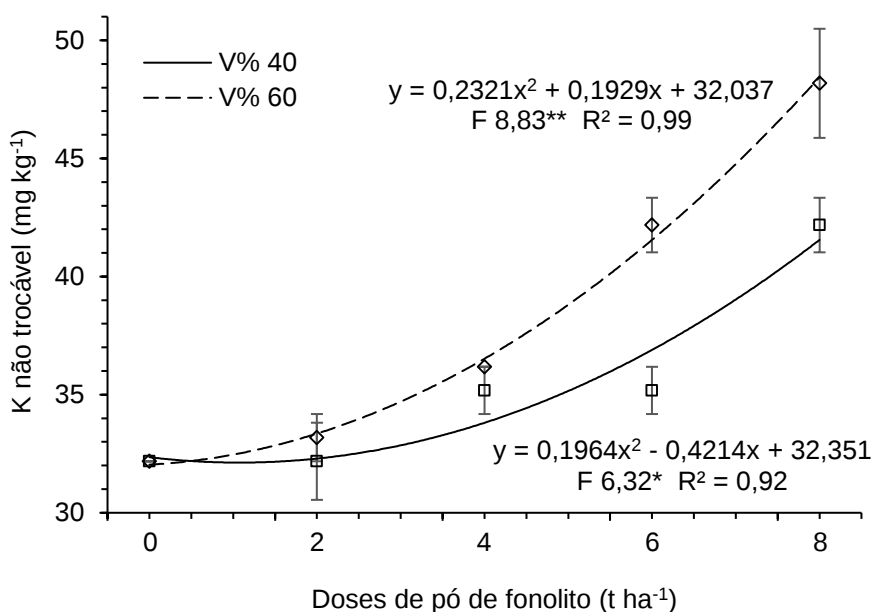


Figura 3. Efeito das doses do pó de fonolito no K não trocável do solo em função do índice de saturação por bases do solo (V%). ** significativo a 1% de probabilidade. * significativo a 5% de probabilidade.

Os teores de K estrutural e total do solo em função da aplicação do pó de fonolito estão apresentados na Figura 4. Observa-se que o aumento dessas formas de K no solo tem comportamento semelhante quanto a elevação das doses, não sendo significativo para quantidades de 2 e 4 t ha⁻¹. Somente foi observado aumento nos teores de K estrutural e total do solo a partir da dose 6 t ha⁻¹.

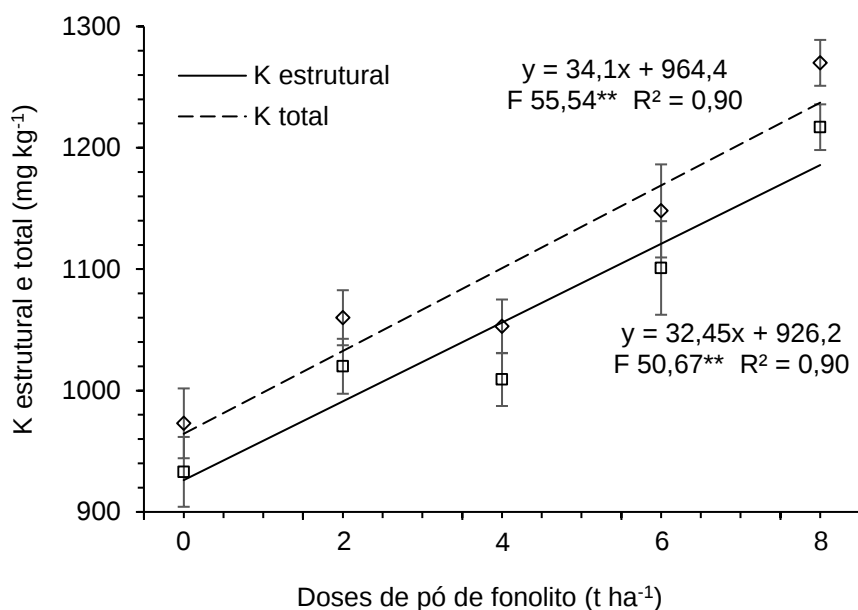


Figura 4. Efeito das doses do pó de fonolito nos teores de K estrutural e K total de Latossolo Vermelho distroférico típico. ** significativo a 1% de probabilidade.

Não foi observado efeito de solubilização do pó de fonolito em função do V% do solo. No entanto, observa-se na Tabela 2, que o acúmulo de K na parte aérea das plantas de *B. decumbens* foi maior do que a diminuição de K do solo, somada ao K solúvel acrescentado pela aplicação das doses do pó de fonolito. A ação solubilizadora das plantas foi verificada para todas as doses.

Tabela 2. Solubilização de K de pó de fonolito em função dos resultados obtidos no experimento durante 70 dias de crescimento de plantas.

Dos e t ha ⁻¹	Diminuição de K no solo	K solúvel acrescentado	K acumulado na planta ¹	K absorvido a mais (solubilizado)	Aumento equivalente a K ₂ O
		mg por vaso			kg ha ⁻¹
0		0	110,40	0	0
2		2,24	125,95	4,11	3,66
4	119,6	4,48	140,09	16,01	14,29
6		6,72	150,92	24,60	21,95
8		8,96	161,19	32,62	29,11

¹ Análise de variância e comparação de médias descritas na Tabela 1.

Os teores de K solubilizado do pó de fonolito foram de 1,8 a 3,6 vezes maiores que os próprios teores solúveis do produto, proporcionando aumento de K no sistema de até 29 kg ha⁻¹ de K₂O, na dose de 8 t ha⁻¹.

3.4 Discussão

A faixa de pH que ocorre em Latossolos com V% entre 40 e 60 não afeta a disponibilidade de cátions como Ca, Mg e K (Quaggio et al., 1985), o que explica a não alteração dos teores de K trocável do solo e acumulado pelas plantas, em função da variação de V%. Já para os teores de K estrutural, a não diferença observada pode ser explicada pela grande estabilidade dos minerais que o contém em sua estrutura e às pequenas variações de acidez do solo (Ribeiro et al., 2010).

O teor de K total do solo é dado pelo somatório dos teores de todas as formas, e é definido, principalmente, pela forma estrutural, como pode ser observado na Figura 4. Assim, o que explica a não significância entre os teores de K total em função das condições de V% 40 e 60, é justamente o fato das formas trocável e estrutural não terem sido alteradas com a variação do V%.

A ligeira diminuição na produção de MS pelas plantas de *B. decumbens* em V% 60 observada nesse experimento, comprova que a espécie é bem adaptada a solos ácidos e pobres. Kawatoko et al. (2012), trabalhando com a mesma espécie, relataram que é comum haver aumento na produção com a aplicação de calcário para elevar a saturação por bases do solo somente até 40%. Ainda, segundo os autores, são comuns os trabalhos na literatura que comprovam a não resposta da planta a calagem para valores de V% maiores.

Ao final do experimento, o pH ainda apresentava os efeitos da elevação do V a 60%, ou seja, com a calagem houve consumo dos ácidos da solução do solo e, deste modo, hidrogênio e alumínio foram deslocados da fase sólida, diminuindo H⁺Al, e as bases ocuparam o lugar dos cátions ácidos na CTC, o que aumentou o V%. Assim, como o que acontece na solução do solo é reflexo da fase sólida, o pH, que representa a acidez da solução, também estava maior (Raij et al., 2001).

A CTC é uma característica intrínseca da matriz sólida do solo dada pela quantidade de cargas negativas dos coloides minerais e orgânicos. A menos que haja

alteração nos teores de matéria orgânica, o que não ocorre em curtos períodos de tempo, como o caso do presente experimento, a CTC não deve sofrer variações significativas. Assim, o efeito observado é uma variação pequena e sem relação de causa e efeito em relação ao valor de V%.

Os atributos químicos pH e CTC foram avaliados em função das doses do pó de fonolito com intuito de acrescentar informações à literatura sobre possíveis efeitos positivos à fertilidade dos solos tropicais. Porém, não foi observado qualquer efeito corretivo de acidez, tanto quanto, potencial de promover aumento na CTC pelo pó de fonolito.

Esses resultados discordam de Martins et al. (2014), que ao trabalharem com doses de pó de fonolito semelhantes às utilizadas nesse experimento, obtiveram aumentos de pH de 4,6 na dose 0, para 6,1 com aplicação de 8,2 t ha⁻¹, além de o valor de V% ter dobrado de 9 para 18, o que indica diminuição significativa da acidez em Latossolo de textura média. Porém, muito provavelmente essas divergências estejam relacionadas ao poder tampão entre os solos, visto que, no presente experimento, a CTC é mais que o dobro da CTC do solo utilizado por Martins et al. (2014).

A não diferença observada entre os teores de K trocável remanescente no solo, define que as plantas de *B. decumbens* absorveram todo o K solúvel adicionado pelas doses do pó de fonolito, confirmado pelo aumento linear do K acumulado na Figura 2. Martins et al. (2013), também relataram aumento linear no K acumulado por *Brachiaria brizantha* em função da aplicação de doses de pó de fonolito ao solo.

As plantas forrageiras do gênero das *Brachiarias* são ditas comumente como não responsivas à adubação potássica, porém, percebe-se com base nas Figuras 1 e 2 que, quando cultivadas em solos com baixo teor de K, produzem mais MS e acumulam mais K em seus tecidos com o aumento do K aplicado, via doses de pó de fonolito, como já observado por Andrade et al. (1997) e Coutinho et al. (2004).

O K não trocável é considerado a parte do K estrutural de minerais mais facilmente solubilizada em meio ácido, somada ao K retido de maneira específica nas entrecamadas de minerais 2:1 do grupo das micas (Chaves et al., 2015). Desta forma, o aumento dos teores de K não trocável do solo observado na Figura 3, deve-se à presença predominante desses minerais na composição da rocha aplicada.

A maior acidez em V% 40 pode ter forçado o equilíbrio das formas não trocáveis de K do pó do fonolito para a solução do solo, explicando o aumento observado dos teores somente com a aplicação da dose mais alta. Na condição de menor acidez (V%=60), o aumento nos teores de K não trocável começaram a ser significativos a partir da dose de 6 t ha⁻¹.

Deste modo, o efeito do ambiente mais ou menos ácido nas formas de K não trocável dependeu do aumento da concentração pela aplicação do pó de fonolito, de modo que no tratamento 0, que representa somente os baixos teores de K não trocável do solo, observa-se que as curvas se cruzam, mostrando não haver efeito do V% (Figura 3). Ainda, pode ter ocorrido influência das plantas no equilíbrio do K não trocável para a solução do solo na condição de maior acidez, na qual a *B. decumbens* tende a exsudar maior quantidade de ácidos orgânicos (Hartwig et al., 2007).

Algumas informações na literatura ajudam a confirmar os resultados obtidos, como: Chaves et al. (2015) afirmaram que o K não trocável é uma forma instável que pode estar em equilíbrio com a solução do solo por ação da acidez; Manning et al. (2017) relataram que os teores de K não trocável nos Latossolos são baixos, semelhantes aos de K trocável, devido à quantidade desprezível de micas e feldspatos presentes nas frações mais grosseiras como areia; e Gonçalves et al. (2013) obtiveram aumento nos teores de K não trocável de Latossolo pela aplicação de 0; 2,75; 5,5; 8,2 e 11 t ha⁻¹ de pó de fonolito.

A presença predominante de minerais primários de feldspato potássico como ortoclásio e microclina na composição do fonolito (Martins, 2013), faz com que os teores de K estrutural do solo aumentem com as doses aplicadas do pó da rocha (Figura 4). Notadamente, em função da baixíssima quantidade desses minerais primários que podem ainda persistir nas frações mais grosseiras dos Latossolos (Manning et al., 2017), os teores totais de K são baixos, com isso os aumentos são observados já com a aplicação da dose de 2 t ha⁻¹ do pó de fonolito.

Os teores totais de K dos Latossolos, de acordo com Gonçalves et al. (2013), são da ordem de 960 mg kg⁻¹, baixos, em comparação com solos de regiões temperadas, que podem ter teores acima de 9.000 mg kg⁻¹ devido à presença de minerais como micas e feldspatos (Melo et al., 2004). Esses teores são semelhantes

aos 933 mg kg⁻¹ para K estrutural e 973 mg kg⁻¹ para K total obtidos no presente experimento (Figura 4).

Tendo havido aumento das formas não trocáveis e estruturais de K do solo, o K total também aumenta. Como neste experimento os teores de K trocável foram quase exauridos do solo, os teores de K total foram regidos pelas formas não trocável e estrutural, não sendo coincidência o aumento a partir da dose 6 t ha⁻¹, assim como para as outras formas.

O efeito solubilizador de K dos minerais primários ou secundários presentes nos pós de rocha podem estar relacionados com as condições de acidez do solo nos quais são aplicados, e pela ação solubilizadora exercida pelas plantas por meio de exsudação de ácidos orgânicos ou liberação de íons H⁺ que reagem com a estrutura desses minerais (Landeweert et al., 2001).

No presente experimento, as condições de acidez do solo representadas pelos valores de V% não tiveram efeito de solubilização no pó de fonolito. Isso pode ser explicado, uma vez que, o V% não alterou a maioria das formas de K no solo nem os teores de K acumulado pelas plantas. Com base no próprio experimento, o K disponível do sistema foi quase todo absorvido pela espécie, desta forma, teria o V% aumentado o K acumulado em caso de solubilização do nutriente.

A ação solubilizadora de K atribuída à *B. decumbens* sobre o pó de fonolito e não às formas pouco solúveis do solo, ou a ambas as condições, deve-se ao fato de que nenhuma dessas formas de K exclusivas do solo (dose 0) foram alteradas. Como exemplo, o K não trocável adicionado pelo pó de fonolito foi mantido em equilíbrio até a dose 6 t ha⁻¹ na condição mais ácida por influência da solubilização, porém não houve diminuição das formas não trocáveis exclusivas do solo, caso contrário, seria observado aumento de K acumulado pelas plantas além do absorvido na dose 0.

De acordo com os resultados do trabalho, a *B. decumbens* absorveu mais K por meio de solubilização do que pelos próprios teores solúveis do pó de fonolito, chegando a aumento de quase 30 kg ha⁻¹ de K₂O no sistema. Ao observar as correlações do K acumulado com os teores de K não trocável e estrutural, r 0,68** e r 0,72** (1% de probabilidade) respectivamente, percebe-se a habilidade desta espécie em absorver o nutriente das formas não trocáveis e estruturais de Latossolo tratado com doses do pó de fonolito.

Avaliações como as que foram feitas no presente trabalho têm sido apoiadas e sugeridas internacionalmente por pesquisadores, em busca de obter estratégias de manejo que possam aumentar a eficiência no uso de pó de rocha, reduzir o custo e aumentar a sustentabilidade da produção agrícola em regiões tropicais com predominância de solos pobres em reservas de K como os Latossolos (Manning et al., 2010; Manning et al., 2017; Silva et al., 2018).

3.5 Conclusões

A aplicação do pó de fonolito aumenta a produção de MS e o acúmulo de K na parte aérea de *B. decumbens*.

No solo, a aplicação do pó de fonolito aumenta os teores de K não trocável, estrutural e total, mas não alteram as características de pH e CTC.

As condições de acidez do solo não interferem na quantidade de K absorvido pelas plantas, porém a produção de MS é maior na condição mais ácida.

A acidez do solo não interfere nas formas de K trocável, estrutural e total do mesmo, no entanto proporciona maior equilíbrio do K não trocável com a solução.

A *B. decumbens* tem habilidade de solubilizar K de doses de do pó de fonolito independente da acidez do solo.

3.6 Referências

Alcarde JC (2009) Manual de análise de fertilizantes. Piracicaba: FEALQ, 259p.

Andrade JB, Coutinho Filho JLV, Justo C, Perez R, Ferrari Junior E, Paulino V, Mattos H (1997) Nitrogênio e potássio na produção e composição da forragem de *Brachiaria decumbens* Stapf. **ARS Vet.** 268-274.

Carmo CAFS, Araujo WS, Bernardi ACC, Saldanha MFC (2000) **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. EMBRAPA, Rio de Janeiro.

Chaves E, Pedron FA, Melo VF, Dalmolin RSD (2015) Reserva mineral de K por diferentes métodos em argissolos subtropicais. **Rev Bras Ciênc Solo** 39:1088–1099. <https://doi.org/10.1590/01000683rbc20140670>.

Coutinho ELM et al (2004) Adubação potássica em forrageiras. In: Pedreira CGS, Moura JC, Faria VP (ed) Fertilidade do solo para pastagens produtivas, FEALQ, Piracicaba, p. 219-277.

Gonçalves ASF, Martins V, Leite MCA, Muilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fracionamento de potássio em solos adubados com fontes alternativas. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113792/1/34261.pdf>>. Acesso 04 mar. 2020.

Hartwig I, Oliveira AC de, Carvalho FIF de, Bertan I, Silva JAG da, Schmidt DAM, Valério IP, Maia LC, Fonseca DAR, Reis CES dos (2007) Mecanismos associados à tolerância ao alumínio em plantas. **Semin Ciências Agrárias** 28:219-228.

Helmke PA, Sparks DI (1996) Lithium, sodium, potassium, rubidium and cesium. In: Sparks DL et al (eds) Methods of soil analysis, Part 3 – Chemical methods. **Soil Science Society of America**, Madison, p. 551-574.

Kawatoko M, Fernandes FM, Prado RM, Isepon OJ (2012) efeito imediato de calcário, nitrogênio e zinco na produção de matéria seca de *Brachiaria decumbens*. **Terra Latinoamericana** 30:81-87.

Landeweert R, Hoffland E, Finlay RD, Kuyper TW, Breemen N (2001) Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. **Trends Ecol Evol** 16:248-254. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347\(01\)02122-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-5347(01)02122-x).

Manning DAC (2010) Mineral sources of potassium for plant nutrition. A review. **Agron Sustain Dev** 30:281-294. <https://doi.org/10.1051/agro/2009023>.

Manning DAC, Baptista J, Limon MS, Brandt K (2017) Testing the ability of plants to access potassium from framework silicate minerals. **Sci Total Environ** 574:476-481. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.086>.

Martins V (2013) Solubilização de fontes de potássio e seu efeito em atributos do solo e no crescimento e nutrição do capim-marandu. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia – UFLA, Lavras.

Martins V, Gonçalves AS, Leite MCA, Guilherme LRG, Marchi G, Martins ES (2013) Fontes alternativas de potássio para a nutrição da *Brachiaria brizantha* cv Marandu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. **Resumos expandidos** Flóridaópolis: CBCS, p. 1-4.

Martins V, Silva DRG, Marchi G, Leite MCA, Martins ES, Gonçalves ASF, Guilherme LRG (2014) Effect of alternative multinutrient sources on Soil chemical properties. **Rev Bras Ciênc Solo** 39:194-204. DOI: 10.1590/01000683rbcs20150587.

Menezes-Blackburn D, Giles C, Darch T et al (2018) Opportunities for mobilizing recalcitrant phosphorus from agricultural soils: a review. **Plant Soil** 427:5-16.

Melo GW, Meurer EJ, Pinto LFS (2004) Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníficos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Rev Bras Ciênc Solo** 28:597-603. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832004000400002>.

Moretti LG, Bossolani JW, Crusciol CAC, Moreira A, Micheri PH, Rossi R, Imaizumi C (2019) Dunite in agriculture: physiological changes, nutritional status and soybean yield. **Commun Soil Sci Plant Anal** 50:1775-1784. <http://dx.doi.org/10.1080/00103624.2019.1635143>.

Quaggio JA, Raij B van, Malavolta E (1985) Alternative use of the SMP-buffer solution to determine lime requirement of soils. **Commun Soil Sci Plant Anal** 16:245-260. DOI: 10.1080/00103628509367600.

Raij B van, Andrade JC, Cantarella H, Quaggio JA (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. IAC, Campinas.

Ribeiro LS, Santos AR, Souza LFS, Souza JS (2010) Rochas silicáticas portadoras de potássio como fontes do nutriente para as plantas solo. **Rev Bras Ciênc Solo** 34:891-897. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832010000300030>.

Silva FLIM, Fernandes MS, Magalhães JR (1987) Estudo do balanço iônico na absorção de nutrientes no milho. **Pesqui Agropecu Bras** 22:331-337. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/14333/8244>>. Acesso 04 mar. 2020.

Silva RR, Carvalho ISB, Rocha SDF (2018) Transformações químicas e mineralógicas em mistura de rocha potássica e calcário submetida a processo térmico visando a liberação do potássio contido. **Tecnol em Metal Mater e Mineração** 15:369-376. <http://dx.doi.org/10.4322/2176-1523.20181473>.