

LUCAS GONÇALVES MACHADO

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO, PRODUTIVIDADE E  
NUTRIÇÃO DE CAFÉ E CAPIM BRAQUIÁRIA FERTILIZADOS COM PÓ DE  
FONOLITO E TERMOPOTÁSSIO**

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

RIO PARANAÍBA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2016

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

T

Machado, Lucas Gonçalves, 1989-  
633.73            Características químicas do solo, produtividade e nutrição  
2016            de café e capim braquiária fertilizados com pó de fonolito e  
                 termopotássio / Lucas Gonçalves Machado. – Rio Paranaíba,  
                 MG, 2016.  
                 vi, 42f : il. ; 29 cm.

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

1. Fontes alternativas de fertilizantes. 2. Pó de rocha.  
3. Termofertilizantes.. I. Universidade Federal de Viçosa -  
Campus Rio Paranaíba. Instituto de Ciências Agrárias. Mestrado  
em Agronomia-Produção Vegetal (Campus CRP). II. Título.

M149c

LUCAS GONÇALVES MACHADO

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DO SOLO, PRODUTIVIDADE E  
NUTRIÇÃO DE CAFÉ E CAPIM BRAQUIÁRIA FERTILIZADOS COM PÓ DE  
FONOLITO E TERMOPOTÁSSIO**

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

APROVADA: 16 de março de 2016.

---

D.Sc. Leonardo Angelo de Aquino  
Coorientador

---

D.Sc. Luis Cesar Dias Drumond  
Coorientador

---

D.Sc. Alex Teixeira Andrade  
Membro da banca

---

D.Sc. André Mundstock Xavier de Carvalho  
Orientador

Aos meus pais,  
José Lucio Gonçalves e Lenise Machado

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida, a saúde e a sabedoria para escolher os caminhos da vida.

Aos meus pais José Lucio e Lenise, que ao longo de todos esses anos foram exemplo de perseverança, determinação, trabalho e honestidade.

A minha namorada Maria Izabel que sempre esteve ao meu lado todos os dias, foi paciente, amiga, companheira e meu porto seguro.

A Universidade Federal de Viçosa, campus de Rio Paranaíba e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Ao GRUPO TSUGE, empresa que me abriu as portas ao mercado de trabalho e sempre me apoiou na busca pelo crescimento profissional.

Ao senhor Marcos Geraldo, que nos recebeu de portas abertas em sua propriedade e foi nosso parceiro na realização deste trabalho.

Ao meu orientador André Mundstock Xavier de Carvalho pela orientação, amizade, experiência e ensinamentos ao longo deste curso.

Aos professores Leonardo Aquino e Luis Cesar, pela coorientação e contribuições no desenvolvimento deste trabalho.

Ao pesquisador da EPAMIG Alex Teixeira Andrade pelas contribuições e disponibilidade em participar da banca de defesa.

Aos membros do GESSIA, pela amizade e acolhida que me receberam, onde pudemos compartilhar e viver experiências que me permitiram crescer por meio das provocações ao convencional e estímulo a pesquisa.

Aos amigos Waner, Felipe, Ilídio, Rafael, Laene, Roberval e Valmir, cujo companheirismo e ajuda foram indispensáveis para a realização deste trabalho.

Ao Mário Stein Carvalho Dias e ao Alfredo Yuji Ieiri da Yoorin Fertilizantes pela atenção, sugestões e apoio.

À prof. Irene Maria Cardoso pelo apoio na elaboração do projeto e captação de recursos financeiros junto ao CNPq.

## ÍNDICE

RESUMO .....	V
ABSTRACT .....	VI
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	3
CAPÍTULO I – FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA CULTURA DO CAFÉ .....	4
RESUMO .....	4
INTRODUÇÃO.....	4
MATERIAL E MÉTODOS.....	6
RESULTADOS .....	9
DISCUSSÃO.....	15
CONCLUSÕES.....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	18
CAPÍTULO II – TERMOPOTÁSSIO E FONOLITO SÃO FONTES PROMISSORAS PARA A FERTILIZAÇÃO DE PASTAGENS .....	23
RESUMO .....	23
INTRODUÇÃO.....	23
MATERIAL E MÉTODOS.....	25
RESULTADOS .....	27
DISCUSSÃO.....	32
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
CONCLUSÕES GERAIS .....	42

## RESUMO

MACHADO, Lucas Gonçalves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa - Campus de Rio Paranaíba, março de 2016. **Características químicas do solo, produtividade e nutrição de café e capim braquiária fertilizados com pó de fonolito e termopotássio.** Orientador: André Mundstock Xavier de Carvalho. Coorientadores: Leonardo Angelo de Aquino e Luis César Dias Drumond.

A fonte de potássio (K) mais utilizada na agricultura brasileira é o cloreto de potássio (KCl). Contudo, este insumo é em sua maior parte importado e não adequado para os sistemas orgânicos de produção. Devido a demanda por fertilizantes para estes sistemas e a forte dependência externa do agronegócio brasileiro, a busca por fontes alternativas de fertilizantes, especialmente os potássicos, é de suma importância. Com o intuito de melhor compreender as potencialidades e limitações de duas fontes alternativas de K, foram conduzidos três experimentos em condições de campo, sendo dois com a cultura do café e um com capim braquiária. Os experimentos seguiram o delineamento em blocos casualizados com a estrutura fatorial  $(3 \times 2) + 3$ , onde foram testadas as fontes alternativas de potássio, fonolito e termopotássio, e uma fonte convencional (KCl) aplicadas em duas doses, 150 e 400 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Além disso, foram estabelecidos três tratamentos adicionais, um controle absoluto e mais dois tratamentos com o objetivo de testar parâmetros de interesse por contrastes. Os resultados mostraram que o cafeeiro não respondeu ao aporte de silício (Si) ao solo das fontes alternativas, conforme observado pelos teores foliares do elemento e na incidência de *Cercospora coffeicola*. O pó de fonolito e o termopotássio obtido por fusão são fontes alternativas de K com efetiva liberação do nutriente às plantas e de Si e K ao solo. Apesar de menos reativas, estas fontes são potencialmente menos lixiviáveis, mesmo que o KCl seja aplicado parceladamente. Além disso, observou-se que o uso contínuo do fonolito em doses elevadas deve ser visto com cautela, uma vez que esta fonte resultou em elevada disponibilização de sódio no solo. Todavia, um dos tratamentos adicionais (fonolito + gesso) mostrou-se eficiente em minimizar o acúmulo deste elemento na camada superficial. Tendo em vista a menor necessidade de parcelamentos e a possibilidade de atender a demanda por fertilizantes potássicos de produtores orgânicos, o fonolito e o termopotássio são fontes interessantes para a fertilização de pastagens.

## ABSTRACT

MACHADO, Lucas Gonçalves, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa - Campus de Rio Paranaíba, march, 2016. **Chemical characteristics of soil productivity and nutrition of coffee and braquiaria grass fertilized with phonolite powder and thermopotash.** Adviser: André Mundstock Xavier de Carvalho. Co-advisers: Leonardo Angelo de Aquino and Luis César Dias Drumond.

The most used source of potassium (K) in Brazilian agriculture is potassium chloride (KCl), but this input is mostly imported and is not appropriate for the organic systems of production. Due to the demand of fertilizer for this systems and the high external dependency of the Brazilian agribusiness, the search for alternative sources of fertilizers, especially the potassium, is of utmost importance. With the intention for better understand the potential and limitations of two alternative sources of K, three experiments were conducted in field conditions, two with the culture of coffee and one with braquiaria grass. The experiments followed the outlining of blocks randomized with the factorial structure  $(3 \times 2) + 3$ , were tested the alternative sources of K, phonolite and thermopotash, and one conventional source (KCl) applied in two doses, 150 and 400 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Besides, three additional treatments were established, one absolute control and more two treatments with the purpose to test parameters of interest tested for contrast. The results showed that the coffee plant did not answer to input of silicon (Si) in the soil of alternative sources, according observed for the foliar levels of the element and in the incidence of *Cercospora coffeicola*. The powder of phonolite and thermopotash obtained for fusion are alternative sources of K with effective release of the nutrient to plants and the Si and K to soil. Despite the fact to be less reactive, this sources are potentially less susceptible to losses from leaching, even if the KCl is applied in installments. Furthermore, the continuous use of phonolite in high doses should be seen with caution, once this source resulted in high release of sodium in the soil. However, one of the additional treatments (phonolite + gypsum) proved efficient to minimize the accumulation of this element in superficial layer. In view of the less necessity of installments and the possibility to attend the demand for potassium fertilizer of organic products, the phonolite and thermopotash are interesting sources for the fertilization of pasture.



## INTRODUÇÃO GERAL

As reservas mundiais de potássio (K) são em sua maioria utilizadas para a fabricação de fertilizantes, cerca de 87%. Desta porcentagem, algo em torno de 90% são utilizadas para a produção de cloreto de potássio (KCl) e 5% para produção de sulfato de potássio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) (MME, 2009). A fonte de K mais utilizada na agricultura brasileira é o KCl, contudo este insumo é em sua maior parte importado. De acordo com o IBRAM (2011), o Brasil importa aproximadamente 90% de todo o K que consome.

Este cenário coloca o Brasil como grande dependente das importações de fertilizantes. Isso ocorre, dentre outros fatores, devido a extensa área destinada a agricultura no país, ao estilo de agricultura adotada, que prioriza a obtenção de produtividades elevadas em detrimento à eficiência no uso de insumos, à existência de poucas reservas minerais de K exploradas no país e à baixa disponibilidade natural de K em boa parte dos solos brasileiros.

Fontes alternativas potássicas no Brasil são importantes para reduzir a dependência externa do setor agrícola quanto a importação desse insumo, além de melhorar o status de segurança alimentar e nacional. Somado a isso, existe uma demanda crescente por fertilizantes e tecnologias que possam ser aplicadas nos sistemas orgânicos de produção, uma vez que este setor se encontra em forte expansão no Brasil e no mundo (Willer & Lernoud, 2014).

No território brasileiro existem abundantes fontes potenciais de K para a agricultura, como os verdetes, gnaisses, granitos e fonolitos (Santos et al., 2015; Teixeira et al., 2012). Contudo, são rochas ainda pouco estudadas para fins agrícolas, sendo necessário a realização de pesquisas para que se conheça suas características enquanto fertilizantes.

A menor solubilidade destas fontes resulta em uma liberação mais gradual dos nutrientes, que por sua vez pode permitir a aplicação de todo o fertilizante apenas uma vez no início do ciclo da cultura. Desta forma, a redução de parcelamentos pode contribuir para a redução dos custos produção, além de trazer benefícios ao meio ambiente, dado que na maioria das propriedades as operações mecanizadas envolvem a queima de combustíveis fósseis.

Muitas destas rochas, como é o caso dos pós de fonolito, basalto e granito são subprodutos da mineração. Desta forma, a viabilidade de uso na agricultura representa também uma saída mais sustentável para a destinação dos resíduos de mineração destas rochas.

Com o aumento da demanda por alimentos orgânicos, a produção orgânica mundial cresce em ritmo acelerado. A agricultura orgânica já totaliza no mundo mais de 37 milhões de hectares (Willer & Lernoud, 2014), sendo que apenas o café representa cerca de 700 mil ha. No Brasil, as áreas sob agricultura orgânica, por exemplo, saltaram de 170 mil ha em 2002 para mais de 700 mil ha em 2012 (Willer & Lernoud, 2014). Neste sentido, a demanda por insumos adequados a esse tipo de produção também cresce visando atender suas necessidades específicas para produção.

Os termopotássios e remineralizadores (insumos à base de rochas silicatadas moídas), como o pó de fonolito apresentam-se, portanto, como opções interessantes neste importante segmento de mercado. Porém ainda são fontes pouco conhecidas, pesquisadas e exploradas para a diversidade de culturas, solos e manejos da agricultura brasileira.

O fonolito é uma rocha ígnea cuja composição mineralógica é, predominantemente, formada por minerais do grupo dos feldspatos potássicos. Esta rocha contém de 8 a 12% de  $K_2O$  a depender de sua origem, sendo uma fonte alternativa de potássio às culturas (Teixeira et al., 2012). Contudo, a liberação do K desta fonte é mais lenta quando comparado às fontes convencionais, uma vez que o K está ligado à estrutura dos minerais silicatados da rocha.

Esta solubilização mais lenta pode, por um lado, representar um risco ao fornecimento adequado de K nos estágios de maior demanda pela cultura. Por outro lado, pode possibilitar menores perdas por lixiviação e garantir uma distribuição mais gradual ao longo do ciclo da cultura, o que possibilita inclusive, a aplicação anual do fertilizante potássico em dose única.

Comparativamente a outras rochas potássicas, como o glauconito e outras rochas ígneas intrusivas, o fonolito apresenta uma mineralogia mais favorável a liberação do potássio em médio e longo prazo. Isso ocorre porque parte do K se encontra em materiais amorfos ou em cristais especialmente pequenos, mal formados ou, possivelmente, pré-alterados (Teixeira et al., 2012).

Os termopotássios são fertilizantes de utilização recente no país e que também são compostos por vários nutrientes com liberação lenta. Entretanto, a liberação destes pode ser mais rápida e eficiente quando comparados às rochas moídas in natura, devido ao tratamento térmico que recebem. Até o momento dois processos básicos de obtenção de termofertilizantes tem sido mais estudados. Os que envolvem o aquecimento na presença de calcários ou outros ingredientes sob temperaturas comumente não superiores à 900 °C, processo conhecido genericamente como calcinação. E os que envolvem aquecimento até a fusão completa a uma temperatura de até 1500 °C, seguido de um rápido resfriamento.

O termopotássio avaliado neste estudo foi obtido por um processo de fusão total de três rochas principais (rocha ígnea fosfática, serpentinito e rocha ígnea potássica), seguido por um resfriamento rápido com água que leva a formação de materiais não-cristalinos. A obtenção deste termopotássio ocorreu, portanto, por um processo semelhante à obtenção dos termofosfatos magnesianos.

Com o fonolito e o termopotássio há a possibilidade de fornecimento não só do nutriente de interesse principal, mas também de outros macros e micronutrientes, além de elementos benéficos como o silício, selênio, vanádio, entre outros. Entretanto, estas fontes podem apresentar algumas limitações como o fornecimento de elementos tóxicos ou indesejáveis para o sistema solo-planta. Neste caso, destaca-se o sódio (Na) presente em níveis significativos no fonolito, sendo necessário conhecer a liberação deste elemento e a adoção de práticas que minimizem este problema.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. IBRAM, 2011. 6ª edição, 3p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Relatório técnico 52 – Perfil do potássio**. Secretaria de geologia, mineração e transformação mineral. Brasília: MME, 2009. 48p.

SANTOS, W. O.; MATIELLO, COSTA, L. M.; ABRAHÃO, W. A. P. Characterization of verdete rock as a potential source of potassium. **Revista Ceres**, v. 62, n. 4, p. 392-400, 2015.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

WILLER, H.; LERNOUD, J. **The World of Organic Agriculture - Statistics and Emerging Trends 2014**. Bonn: IFOAM, 2014. 308p.

# CAPÍTULO I – FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO NA CULTURA DO CAFÉ

## RESUMO

A demanda por fertilizantes que possam ser utilizados nos sistemas orgânicos cresce junto com a expansão da agricultura orgânica no mundo. Além disso, a dependência nacional por fertilizantes importados e o alto custo destes insumos estimula pesquisas em busca de fontes alternativas de fertilizantes como os pós de rochas e os termofertilizantes. Para tanto, foram implantados dois experimentos em lavouras comerciais de café arábica com o objetivo de avaliar o efeito do pó de fonolito e de um termopotássio obtido por fusão sobre características químicas do solo, nutrição e produtividade do cafeeiro e incidência de *Cercospora coffeicola*. Os experimentos foram estruturados em um esquema fatorial  $(3 \times 2) + 3$ , sendo três fontes de potássio (cloreto de potássio, termopotássio e fonolito) nas doses de 150 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Os tratamentos adicionais foram um tratamento controle (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), um tratamento com aplicação de fonolito na maior dose juntamente com gesso e um tratamento controle sem adição de K, mas com a quantidade de fósforo nivelada com o tratamento termopotássio. As fontes alternativas não afetaram a produtividade e o rendimento de grãos de café, além disso, não foram observadas diferenças significativas na incidência de *C. coffeicola* nas folhas do cafeeiro, bem como nos teores de fósforo e potássio. Observou-se que o termopotássio é uma fonte capaz de aumentar os níveis de K disponível no solo mesmo no curto prazo e que existe uma clara tendência do fonolito em aumentar os níveis de sódio no solo tanto na camada superficial quanto na subsuperficial.

**Palavras-chave:** *Coffea arabica*, termopotássio, fonolito

## INTRODUÇÃO

A cultura do café (*Coffea arabica*) ocupa no país mais de 1,73 milhões de hectares, sendo o Brasil o maior produtor mundial e o segundo maior consumidor do grão. No ano de 2014 mais de 32 milhões de sacas foram exportadas, o que representa cerca de 71% do café produzido no Brasil (Conab, 2014). No país são cerca de 287 mil cafeicultores, dos quais 81% pertencem à agricultura familiar o que representa 38% do café produzido

no Brasil e 44% da área com a cultura, empregando mais de 1,8 milhões de pessoas (IBGE, 2006).

Tais indicadores demonstram a importância da cafeicultura para a economia nacional e como fonte de emprego e renda para os agricultores familiares. Neste contexto, e diante dos riscos associados às mudanças climáticas e às frequentes flutuações nos preços pagos pela saca de café, torna-se importante buscar alternativas que visem a redução dos custos de produção na cultura. O uso de fertilizantes não-convencionais pode ser uma alternativa importante nessa redução, uma vez que os fertilizantes representam, frequentemente, o principal componente dos custos de produção (CNA, 2008; Costa et al., 2009). Além disso, o incentivo ao uso destes fertilizantes representa uma tentativa de redução da vulnerabilidade do agronegócio brasileiro no que se refere à dependência externa por insumos e tecnologias.

Os custos de fertilização correspondem a cerca de 30% do custo total de produção do café. Isso ocorre pelo fato da demanda de nutrientes pelo cafeeiro ser alta, especialmente pelos macronutrientes nitrogênio e potássio (Martinez et al., 2003). O potássio (K) é o segundo elemento mais demandado pela cultura, atrás apenas do nitrogênio (Matiello et al., 2010).

O K é um cátion monovalente relativamente móvel no perfil do solo, sendo as perdas por lixiviação associadas principalmente ao uso de fontes de alta solubilidade, como o cloreto de potássio (Sharma & Sharma, 2013). Em solos arenosos ou com baixa capacidade de troca de cátions e sob alta pluviosidade as perdas são potencialmente maiores, podendo chegar a mais de 25% do K aplicado (Duarte et al., 2013). Neste sentido, o uso de fontes de menor solubilidade como os pós de rochas e os termofertilizantes conferem uma liberação mais lenta do (s) nutriente (s) e assim, possivelmente, resultam em menores perdas por lixiviação (Duarte et al., 2013).

O fonolito é uma rocha ígnea que contém de 8 a 12% de  $K_2O$ , sua utilização como fertilizante é feita após a moagem desta rocha até uma granulometria muito fina (menor que 0,075 mm). O termopotássio é um fertilizante obtido através da fusão total de três rochas principais (rocha ígnea fosfática, serpentinito e rocha ígnea potássica), seguido por um rápido resfriamento. Com este processo a liberação dos nutrientes tende a ser mais rápida.

No entanto, estas fontes são de utilização recente na agricultura e apresentam características que as condicionam como alternativas às fontes convencionais. Além disso, é necessário conhecer como é a liberação dos nutrientes destas fontes, bem como as limitações associadas a elas.

O fertilizante KCl contém, além do K, de 45 a 48% de cloro. O cloro (Cl) é um dos micronutrientes para as plantas, mas seu excesso pode estar relacionado à perda de qualidade de certos produtos agrícolas, como é o caso do café. Segundo Silva et al. (1999), o Cl em excesso nas plantas pode depreciar a qualidade da bebida do café pela redução da atividade da enzima polifenoloxidase. A inibição desta enzima pelo Cl ocorre através da interação com seu cofator metálico, o cobre. A polifenoloxidase está diretamente relacionada com a qualidade da bebida, uma vez que a enzima reduz a oxidação de compostos aromáticos do café, reduzindo sua acidez (Carvalho et al., 1994).

O silício (Si) é um elemento benéfico que tem sido estudado pelos efeitos positivos que exerce sobre a resistência das plantas a estresses bióticos e abióticos. Estes efeitos são observados mesmo em plantas tipicamente não acumuladores de Si, como é o caso do cafeeiro (Pereira et al., 2009). Na cultura do café, a cercosporiose (*Cercospora coffeicola*) é uma das doenças mais importantes, sendo sua incidência afetada por fatores nutricionais, como a relação N:K e a nutrição por Si. Algumas pesquisas indicam que o Si pode ajudar a reduzir a incidência da cercosporiose no cafeeiro (Botelho et al., 2005). Tal efeito sobre fitopatógenos é relacionado à deposição de sílica amorfa na epiderme como uma barreira física à penetração das hifas e indução da produção de metabólitos secundários (Cacique et al., 2012; Curvêlo et al., 2013).

Contudo, trabalhos a campo do efeito do Si sobre a cercosporiose são escassos. Assim, torna-se importante conhecer a resposta de plantas produtivas à aplicação de fontes multinutrientes silicatadas.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito do pó de fonolito e de um termopotássio obtido por fusão sobre características químicas do solo, incidência de *C. coffeicola*, nutrição e produtividade do cafeeiro.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Dois experimentos, com igual matriz experimental, foram conduzidos em talhões comerciais de café no município de Rio Paranaíba, MG. O município está localizado na região do Alto Paranaíba, onde o clima é classificado como Cwa segundo Köppen-Geiger.

O experimento 1 foi conduzido na Fazenda Lote 15 PADAP (19°25'31" S, 46°15'38" O a 1180 m de altitude). O talhão é formado por cafeeiros *C. arabica* cv. Catuaí vermelho 144, com espaçamento 3,8 x 0,5 m transplantados em 1.998. O experimento 2 foi conduzido na propriedade do Sr. Marcos Geraldo (19°13'54" S, 46°11'46" O a 1110 m de altitude) e é formado por cafeeiros *C. arabica* cv. Catuaí vermelho 144, espaçados

em 3,6 x 0,5 m, que se encontravam na terceira safra após poda do tipo recepa. Os solos das áreas experimentais foram classificados de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como Latossolo Vermelho-Amarelo com textura muito argilosa.

Para caracterização da fertilidade da área experimental foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm em setembro de 2014. Para cada amostra composta foram coletadas 20 amostras simples na projeção da copa dos cafeeiros com o auxílio de um trado tipo sonda de PVC. O solo foi seco, peneirado em peneira com malha de 2 mm e as amostras encaminhadas para análise química de acordo com metodologias descritas em Donagema et al. (2011) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do solo das áreas experimentais

Talhão	pH	P (Mehl. 1)	P-rem	K	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	mg L <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....
1 (0-20 cm)	6,2	21,8	9,5	168,1	4,74	1,25	0
2 (0-20 cm)	5,2	6,3	3,2	203,3	2,9	0,70	0,05
Talhão	H + Al	SB	t	T	V	m	M.O.
	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	..... cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....	.....	..... % .....	.....	dag kg <sup>-1</sup>
1 (0-20 cm)	5,2	6,10	6,10	11,30	54,0	0	4,86
2 (0-20 cm)	2,8	4,12	4,17	6,92	59,5	1,2	2,80

Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P e K (Mehlich-1). t: CTC efetiva, total de cargas negativas do solo no pH atual; T: CTC potencial, quantidade de cargas negativas que o solo poderá ter em pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P-rem: fósforo remanescente; M.O.: Matéria orgânica do solo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados buscando controlar o efeito de uma suave declividade nas áreas experimentais. Os tratamentos foram estruturados em um esquema fatorial (3 x 2) + 3, com quatro repetições, sendo três fontes de potássio (cloreto de potássio (57 % de K<sub>2</sub>O), termopotássio (3,9 % de K<sub>2</sub>O; 27,9 % SiO<sub>2</sub>; 8,6 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e pó de fonolito (8 % K<sub>2</sub>O; 54 % SiO<sub>2</sub>; 6,74 % Na<sub>2</sub>O)) aplicadas em duas doses correspondentes a 150 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (tratamentos 1 a 6 – T1 a T6), mais um tratamento controle (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) (T7), um tratamento controle (0 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) com a quantidade de fósforo nivelada com o tratamento termopotássio na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (T8: Controle + P) e um tratamento controle positivo com aplicação de fonolito na maior dose juntamente com gesso na dose de 4 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (T9: Fon + Gesso). O tratamento T8 foi incluído para servir de controle ao tratamento termopotássio aplicado na maior dose (nivelar as doses de P entre eles). O tratamento T9 foi incluído

com o objetivo de conhecer o efeito do gesso sobre a mobilidade do K e do Na disponibilizados pelo fonolito.

As informações dos teores de elementos das fontes alternativas foram obtidas através de análises química total destes elementos em amostra coletada antes da implantação dos experimentos.

Os fertilizantes fonolito e termopotássio foram aplicados ao solo em parcela única na implantação do experimento, no início da estação chuvosa. Já o cloreto de potássio foi parcelado em 3 vezes iguais, em intervalos de 45 dias entre as adubações com o primeiro parcelamento na ocasião dos demais tratamentos. Ademais, os fertilizantes foram distribuídos uniformemente na parcela em ambos os lados da linha de plantio, à lanço, na projeção da copa.

Cada unidade experimental foi constituída por três linhas de café com 10 plantas por linha, sendo consideradas como úteis apenas as seis plantas centrais da linha central. Foram consideradas bordaduras também os cinco metros iniciais de cada linha.

Todas as parcelas receberam uma adubação de base, sem K, conforme recomendação de rotina. A adubação fosfatada constitui-se de 120 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> via MAP e a nitrogenada de 300 e 240 kg ha<sup>-1</sup> N via MAP e nitrato de amônio parcelada em 3 vezes nos talhões 1 e 2 respectivamente. O manejo fitossanitário seguiu o estabelecido para o restante do talhão em cada experimento.

Para avaliação da incidência de *Cercospora coffeicola* foram avaliados 4 ramos plagiotrópicos por planta útil de cada parcela, sendo 2 ramos em cada lado das plantas, no terço médio (Custódio et al., 2010). Em cada ramo, avaliou-se o segundo e terceiro pares de folhas, sendo a incidência calculada pelo percentual de folhas doentes em relação ao número total de folhas avaliadas. O monitoramento foi realizado quatro vezes após a aplicação dos tratamentos em intervalos de 21 dias.

Para avaliação da produtividade, realizou-se a colheita manual dos frutos nas plantas úteis de cada parcela. Os frutos foram derriçados em pano de propileno adequado para colheita de café, abanados e pesados. A colheita iniciou-se quando a estimativa da porcentagem de grãos verdes foi menor que 10%.

Posteriormente, tomou-se uma amostra de 6 kg de frutos de cada parcela para as determinações de produtividade e rendimento de grãos. Os frutos então foram secos ao sol em terreiro de asfalto até que a umidade dos grãos atingisse 12%. Após a secagem, as amostras dos frutos secos foram beneficiadas em descascador manual para o cálculo do rendimento de grãos. O rendimento (%) corresponde à proporção da massa de grãos beneficiados em relação a massa dos frutos secos.



Para determinação dos teores foliares de nutrientes foram coletados o 3º ou 4º par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos do terço-médio das plantas aos 90 dias após a data do terceiro parcelamento dos tratamentos com KCl, conforme Malavolta et al. (1997). As folhas coletadas foram imersas em água destilada, secas ao ar, acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas. Após a secagem, as amostras foram trituradas em moinho tipo Willey e os teores de K, P e Si determinados conforme metodologia descrita por Silva (2009) e Korndörfer et al. (2004).

Aos 120 dias após o último parcelamento das adubações foram coletadas amostras de solo das unidades experimentais. Foram coletadas 16 amostras simples por unidade experimental nas camadas de 0-20 cm e 20-40 cm. As amostras compostas foram secas ao ar, passadas por peneira de malha de 2 mm e submetidas às análises químicas.

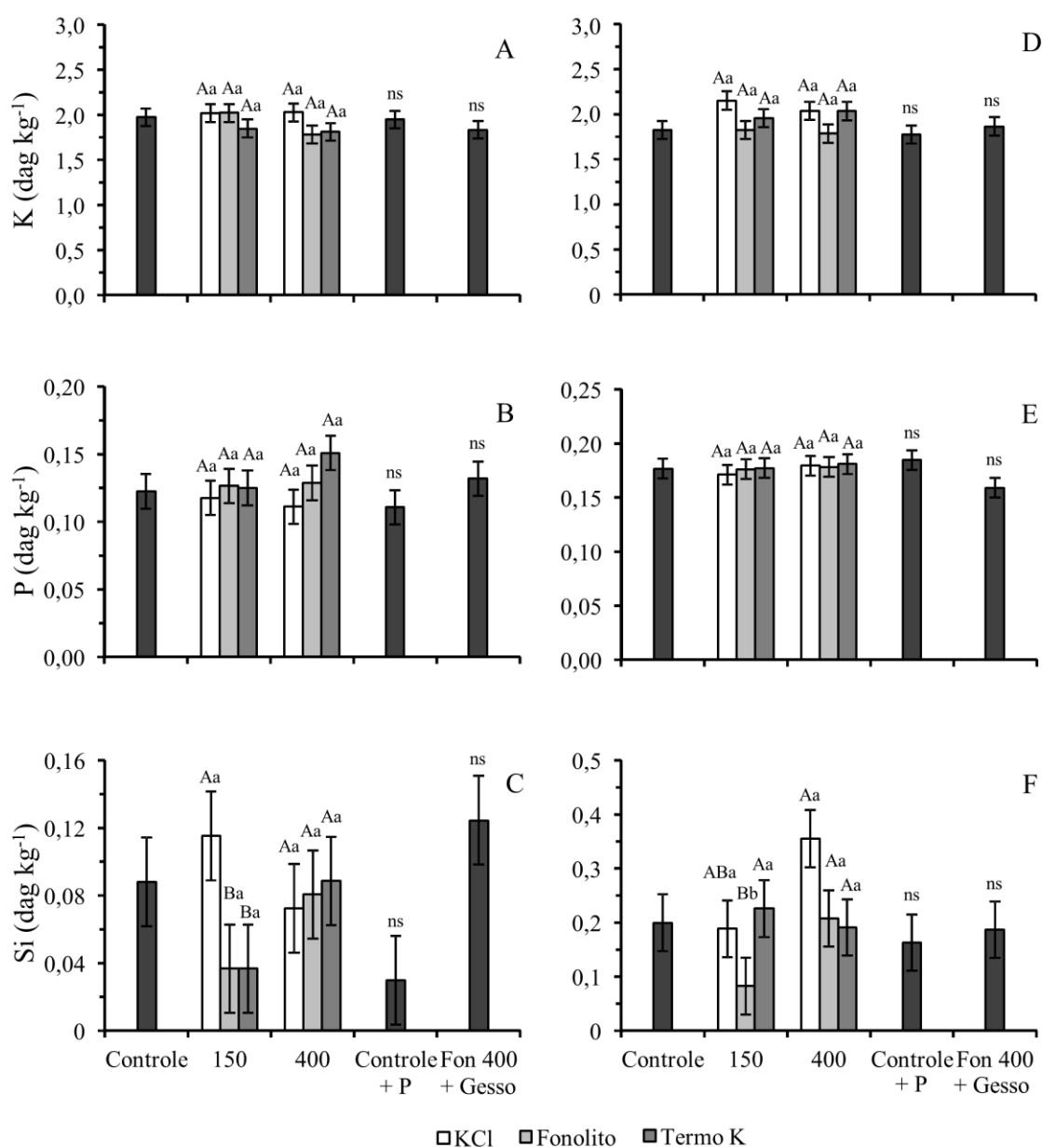
O Si disponível no solo foi extraído pelo extrator ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e determinado por espectrofotometria de absorção molecular pelo método azul (Leite, 1997). Os demais elementos foram extraídos em solução Mehlich-1 (relação solo:extrator de 1:10), sendo que os elementos Na e K foram determinados por espectrometria de chama, o P foi determinado por espectrometria de absorção molecular conforme Donagema et al. (2011).

Os dados foram submetidos aos testes de Hartley, Jarque-Bera (Jarque & Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade. Comparações adicionais foram avaliadas por contrastes de interesse testados pelo teste de Bonferroni modificado por Conagin (1998). Estes contrastes, definidos a priori, foram  $\hat{C}_1$ : T8-T6 e  $\hat{C}_2$ : T9-T5. As comparações com o tratamento controle (T7) basearam-se apenas na estatística descritiva apresentada (valores de média e erro padrão). Quando os dados não atenderam aos pressupostos para a ANOVA foram realizadas transformações nos dados originais (logarítmica ou raiz quadrada) ou foi utilizada apenas estatística descritiva.

## **RESULTADOS**

### **Produtividade e disponibilidade de nutrientes às plantas**

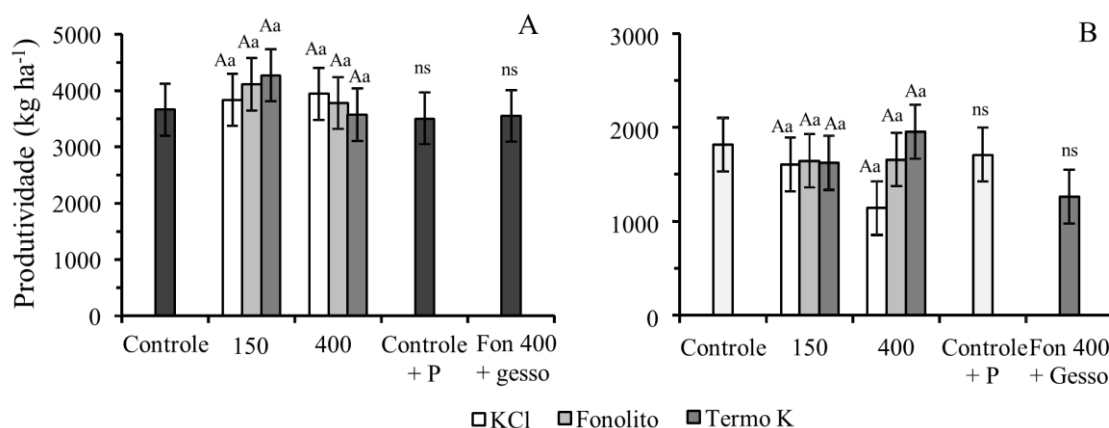
As fontes de potássio aplicadas não afetaram os teores de P e K nas folhas índice do cafeeiro nos experimentos 1 e 2 (Figura 1A e 1E). Os teores foliares de silício, no entanto, foram influenciados pelas fontes aplicadas em ambos os experimentos (Figura 1C e 1F). No experimento 1 as plantas fertilizadas com KCl na menor dose apresentaram maiores teores de Si que as fertilizadas com as fontes alternativas. No experimento 2, no entanto, este comportamento não foi observado. Nesse experimento, o termopotássio possibilitou um maior teor do elemento benéfico no tecido foliar em relação ao fonolito na menor dose (Figura 1F).



**Figura 1.** Teores foliares de potássio (A; D), fósforo (B; E) e silício (C; F), no experimento 1 (A; B; C) e experimento 2 (D; E; F) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio aplicadas em cafeeiro. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5

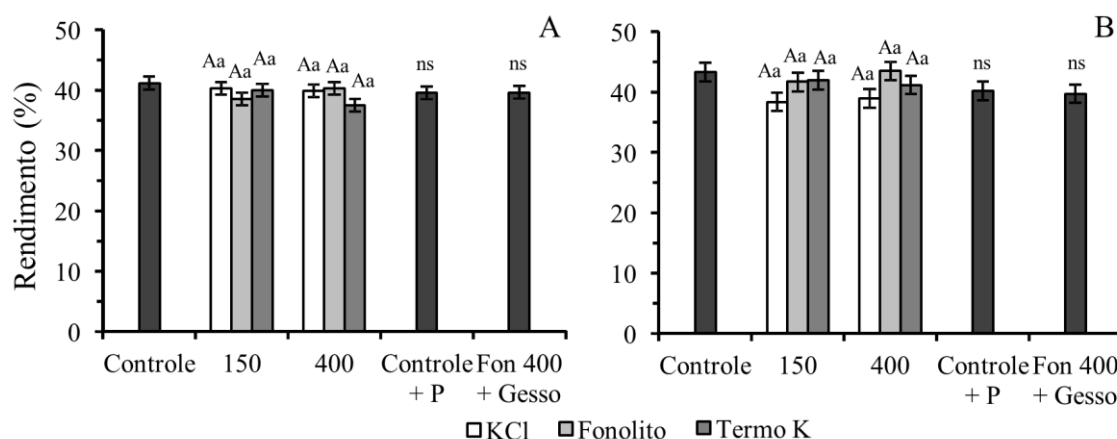
% de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

As fontes alternativas de fertilizantes testadas não incrementaram a produtividade de café nas doses aplicadas em ambos experimentos (Figura 2). Além disso, tendo em vista a bienalidade de produção do cafeeiro, destaca-se que o talhão 1 estava em um ano de safra alta de frutos e o talhão 2 em um ano de safra baixa, o que está diretamente ligado a extração e exportação de nutrientes.



**Figura 2.** Produtividade de café (kg ha<sup>-1</sup>) no experimento 1 (A) experimento 2 (B) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

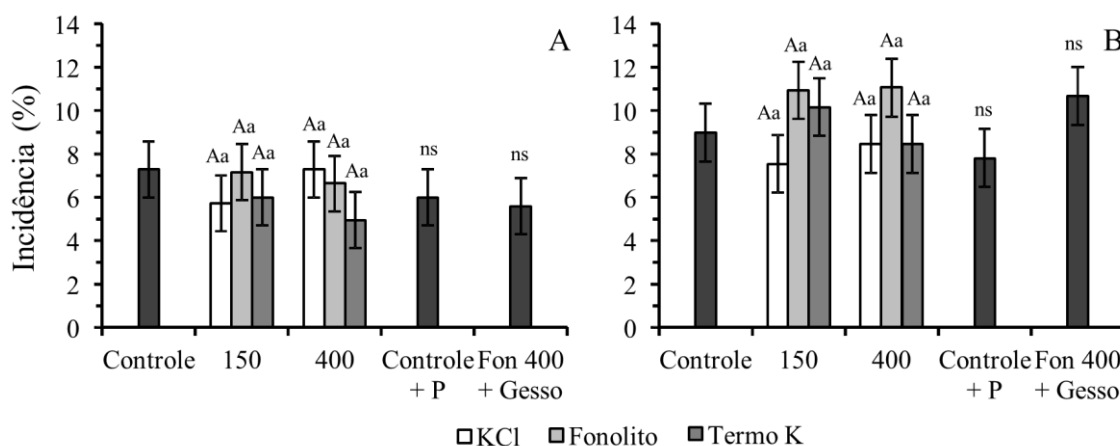
Os tratamentos aplicados também não influenciaram o rendimento de grãos (%) no beneficiamento pós-colheita (Figura 3), tanto no experimento 1 quanto no experimento 2.



**Figura 3.** Rendimento de grãos de café (%) no experimento 1 (A) e experimento 2 (B) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

De maneira geral, os resultados indicam que as fontes e doses de potássio aplicadas não afetaram a incidência (%) da cercosporiose (*C. coffeicola*) nas folhas do cafeeiro (Figura 4). Estes resultados são similares nos dois experimentos conduzidos.

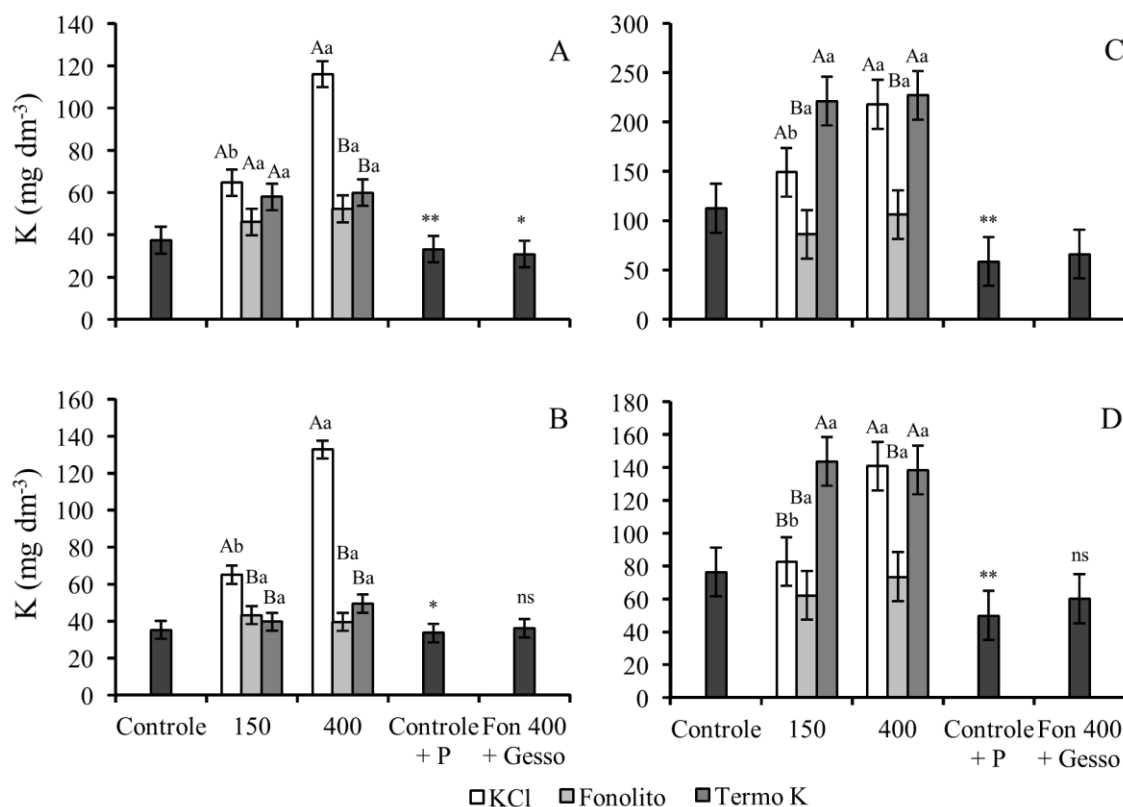


**Figura 4.** Incidência média de *Cercospora coffeicola* (%) em folhas do cafeeiro no experimento 1 (A) e experimento 2 (B) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

### Disponibilidade de nutrientes no solo

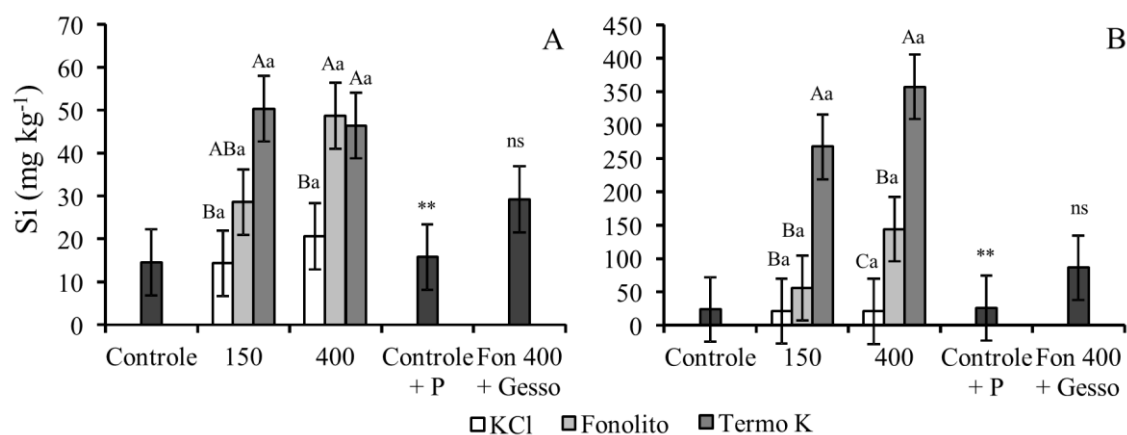
Das fontes alternativas utilizadas e nos dois experimentos, apenas o termopotássio aumentou o K disponível ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) no solo na camada superficial. No experimento 1, na menor dose de K, as fontes utilizadas não diferiram quanto a disponibilidade deste elemento na camada de 0-20 cm (Figura 5A). Na maior dose, a fonte mais solúvel (KCl), diferiu das demais fontes com maior disponibilidade de K para esta fonte. No experimento 2, tanto na dose 150 quanto na dose 400  $\text{kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ , o fonolito resultou em menor teor de K no solo em relação às demais fontes (termopotássio e KCl).

Na camada de 20-40 cm do experimento 1 (Figura 5B), observou-se que as fontes alternativas não diferiram do controle e que o KCl foi a fonte que proporcionou maior teor de K nas duas doses avaliadas. Desta forma, destaca-se o maior potencial de perdas por lixiviação do nutriente advindo desta fonte. Contudo, não se observou o mesmo padrão no experimento 2. Nesse caso o termopotássio, apesar de ser uma fonte menos solúvel que o KCl, também aumentou o K disponível na camada subsuperficial (Figura 5D).



**Figura 5.** Potássio no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas camadas de 0-20 (A; C) e 20-40 cm (B; D), no experimento 1 (A; B) e experimento 2 (C; D) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

As fontes alternativas de potássio afetaram a disponibilidade de silício (Si) no solo (Figura 6). Observou-se um padrão em ambos os experimentos, nos quais o termopotássio aumentou o teor de Si tanto na menor quanto na maior dose aplicada. No experimento 1 a elevação foi maior que 230%, enquanto no experimento 2 foi de 1.200%. Já a outra fonte alternativa (fonolito), aumentou o nível de Si no solo apenas na dose correspondente a  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ .

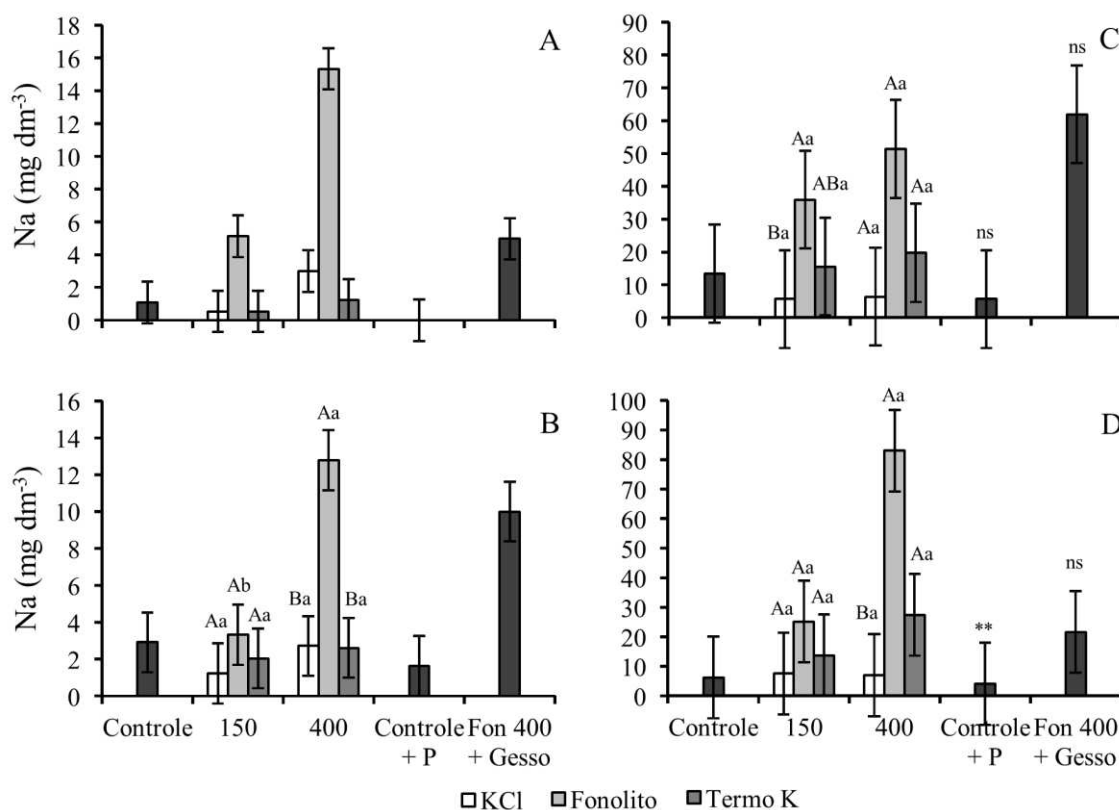


**Figura 6.** Silício no solo ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) no experimento 1 (A) e experimento 2 (B) em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

As fontes e doses de K influenciaram os teores de Na disponível no solo (Figura 7). O fonolito elevou consideravelmente os teores de Na na camada superficial do solo quando aplicado na maior dose ( $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ ).

Estes resultados são semelhantes aos observados na camada subsuperficial do solo (Figura 5B e 5D), em que a aplicação de fonolito também resultou em maiores teores de Na na maior dose, chegando a mais de  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 7D). No entanto, o tratamento T9 (fonolito na maior dose combinado com  $4 \text{ t ha}^{-1}$  de gesso) permitiu uma expressiva redução no acúmulo de Na no solo.

Na camada 0-20 cm do experimento 2, provavelmente devido ao alto coeficiente de variação, foi observada apenas uma diferença, entre as fontes KCl e fonolito na menor dose. Na camada 20-40 cm observa-se uma diferença também entre a fonte convencional (KCl) e o fonolito na dose correspondente a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Ressalta-se que na camada superficial, o valor médio de sódio no solo foi mais de 7 vezes superior ao controle. Na camada subsuperficial os níveis de sódio foram 6,2; 83 e  $21,7 \text{ mg dm}^{-3}$  no controle, fonolito na maior dose e fonolito na maior dose adicionado de gesso, respectivamente.



**Figura 7.** Sódio no solo ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) nas camadas de 0-20 (A; C) e 20-40 cm (B; D), no experimento 1 (A; B) e experimento 2 (C; D) em função de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

## DISCUSSÃO

### Produtividade e disponibilidade de nutrientes às plantas

Os resultados dos teores foliares de potássio (K) e fósforo (P), podem ser interpretados como uma resposta do cafeeiro ao fato destes nutrientes estarem presentes em níveis adequados no solo para a cultura. Com isso, não se obteve resposta à aplicação dos fertilizantes em apenas um ano agrícola de avaliação. De acordo com Matiello et al. (2010), os níveis adequados de K no solo para o cafeeiro estão entre 0,3 e 0,4  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Assim, o K inicialmente presente no solo (Tabela 1) foi suficiente para suprir a necessidade das plantas. Por ocasião da implantação do experimento, o K disponível na camada superficial nos experimentos 1 e 2 eram respectivamente 0,43 e 0,52  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ . Uma avaliação em anos posteriores nestas áreas pode ser interessante considerando a extração de K pelas colheitas.

Além disso, no experimento 1 a média geral dos teores foliares de K e P foram respectivamente 1,93 e 0,13  $\text{dag kg}^{-1}$ , níveis considerados como adequados à cultura do

café (Matiello et al., 2010). Já no experimento 2 as médias gerais para K e P foram 1,97 e 0,18 dag kg<sup>-1</sup>.

Apesar de serem fontes que possuem silício (Si) em sua composição, o fonolito e o termopotássio não afetaram o nível deste elemento nas folhas do cafeeiro. Possivelmente, este resultado está relacionado ao fato do cafeeiro ser uma planta não acumuladora de Si nas folhas. Assim, apesar do termopotássio ter aumentado o Si disponível no solo, este resultado não resultou em maior concentração de Si nas folhas índice.

Como se sabe, a produtividade das culturas está diretamente relacionada ao status nutricional das plantas. Neste sentido, o fato das plantas estarem adequadamente nutridas com potássio resultou na ausência de diferenças de produtividade entre os tratamentos nos experimentos 1 e 2. Ademais, destaca-se que no experimento 2 as plantas estavam com carga de frutos baixa (média geral de 26,7 sacas ha<sup>-1</sup>), com isso a necessidade e extração de nutrientes pela planta é menor, e as respostas às aplicações de fertilizantes são potencialmente menores.

O rendimento de grãos (%) é uma medida comumente utilizada pelos cafeicultores, que está relacionada com o enchimento dos grãos. Quando a planta está em adequadas condições de crescimento (nutrição, sanidade, disponibilidade de água, entre outros), o enchimento dos grãos nos frutos é favorecido e a planta é capaz expressar o seu potencial produtivo e de qualidade dos frutos (Farnezi et al., 2010).

Sabe-se que o rendimento adequado do café é próximo a 50%, uma vez que valores inferiores significam uma maior proporção de palha no fruto, por conseguinte, menor rentabilidade ao produtor. Os resultados para este parâmetro (Figura 3), mostraram que nenhum dos tratamentos diferiram estatisticamente em ambos experimentos, o que também sugere que as plantas estavam em boas condições nutricionais, uma vez que as deficiências nutricionais, especialmente de K, podem comprometer o enchimento dos grãos (Kappes et al., 2013).

A cercosporiose é uma doença relacionada com o estado nutricional do cafeeiro. O desbalanço entre nitrogênio e potássio na planta pode favorecer a doença, contudo, pelos seus efeitos benéficos relacionados à defesa de plantas, o Si pode reduzir a incidência da doença nas plantas (Botelho et al., 2005). Os resultados apresentados, no entanto, mostram que estes efeitos não foram detectados nas condições experimentais avaliadas.

Estes resultados podem estar relacionados à pequena ou ausência de diferenças nos teores foliares de Si entre as fontes aplicadas. Desta maneira, não houve condições



suficientes para a planta expressar os possíveis efeitos benéficos do elemento. Além disso, a falta de valores de referência para teores foliares de Si no cafeeiro dificulta compreender se esta não diferença na incidência da doença pode estar associada ao simples fato de as plantas encontrarem-se adequadamente nutridas em Si.

Em experimento conduzido por Amaral et al. (2008), os autores testaram os efeitos de aplicações foliares de silicato de potássio sobre a incidência e severidade de *C. coffeicola* em campo. Os autores verificaram que as aplicações ajudaram a reduzir a severidade da doença, mas não sua incidência.

### **Disponibilidade de nutrientes no solo**

De acordo com os resultados apresentados, o termopotássio apresentou-se como uma fonte alternativa capaz de disponibilizar potássio (K) no solo mesmo no curto-prazo. O tratamento térmico que a rocha sofre no processo de fabricação (fusão total) mostrou-se eficiente na disponibilização do nutriente, uma vez que a disponibilidade foi semelhante ao KCl.

O fonolito não diferiu do controle absoluto, o que pode estar associado ao fato de a reatividade desta fonte ser menor e também ao fato do solo não favorecer as reações de hidrólise dos minerais da rocha devido à elevada disponibilidade inicial de K. Quando a hidrólise não é estimulada pelo deslocamento do equilíbrio da reação, a liberação do K dependerá de reações de dissolução, cujas constantes de equilíbrio também são muito baixas para quase todos os minerais silicatados, diferentemente dos cloretos (Mello e Perez, 2009).

Na camada de 20-40 cm, os resultados mostraram que o KCl promoveu um aumento significativo nos teores de K disponível. Nos experimentos 1 e 2, o aumento médio em relação ao controle foi de 26,2% e 84,6 %. Este resultado evidencia que este fertilizante é suscetível às perdas por lixiviação mesmo sendo aplicado parceladamente (Sharma e Sharma, 2013). A taxa de dissolução do KCl, como de outros cloretos, foi muito alta e independeu da demanda da planta ou da capacidade de retenção deste K na CTC do solo, como evidenciado pelos dados deste trabalho.

Grande parte das radículas do cafeeiro localiza-se na camada superficial do solo, até 20 cm (Mota et al., 2006; Ronchi et al., 2015). Assim, uma fração do nutriente aplicado pode localizar-se em uma profundidade do perfil do solo onde a atividade radicular é baixa, reduzindo a absorção do nutriente pelas plantas.

Os resultados de Si disponível no solo mostraram que as fontes alternativas, oriundas de rochas silicatadas, são potenciais fontes deste elemento para as culturas.

Apesar de fornecerem um aporte semelhante de Si ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), dada a quantidade de K aplicada, no experimento 2 o termopotássio foi superior ao fonolito, o que indica uma maior reatividade dessa fonte assim como observado no K disponível. Apesar da elevação do Si no solo, isto não se repetiu na folha, conforme discutido anteriormente, provavelmente pela baixa capacidade de absorção deste elemento pelo cafeeiro. Outras culturas, especialmente as tipicamente acumuladoras de Si poderiam, no entanto, aproveitar melhor o potencial destas fontes enquanto fontes de Si.

Observou-se uma clara tendência na elevação do Na no solo pela aplicação do fonolito. No experimento 1, esta elevação correspondeu a cerca de 7 vezes o teor de Na disponível observado no tratamento controle. Tal situação, embora possa estar associado a valores superestimados pelo extrator utilizado, é preocupante uma vez que pode resultar, em anos sucessivos de aplicação, à um gradual acúmulo de Na.

A disponibilização elevada do Na pelo fonolito aponta para a necessidade de cuidados no uso contínuo de altas doses desta fonte. O excesso de sódio no solo pode trazer diversos malefícios para as plantas em função do estresse salino (Carvalho et al., 2012; Benincasa et al., 2013; Forieri et al., 2016).

## CONCLUSÕES

O termopotássio obtido por fusão é uma fonte alternativa de potássio com efetiva liberação de K e Si no solo.

O cafeeiro não respondeu ao aporte de Si ao solo, tanto nos teores foliares do elemento, quanto na incidência de *C. coffeicola*.

O uso contínuo do fonolito em doses elevadas deve ser visto com cautela, tendo em vista a elevada disponibilização de sódio no solo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, D. R.; RESENDE, M. L. V.; JUNIOR, P. M. R.; BOREL, J. C.; LEOD, R. E. O.; PADUA, M. A. Silicato de potássio na proteção do cafeeiro contra *Cercospora coffeicola*. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, n. 6, p. 425-431, 2008.

BENINCASA, P.; PACE, R.; QUINET, M.; LUTTS, S. Effect of salinity and priming on seedling growth in rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.). **Acta Scientiarum**, v. 35, n. 4, p. 479-486, 2013.

BOTELHO, D. M. S.; POZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; BOTELHO, C. E.; SOUZA, P. E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de doses e fonte de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v. 30, n. 6, p. 582-588, 2005.

CACIQUE, I. S.; DOMICIANO, G. P.; RODRIGUES, F. A.; VALE, F. X. R. Silicon and manganese on rice resistance to blast. **Bragantia**, v. 71, n. 2, p. 239-244, 2012.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. R.; CHALFOUN, S. M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E. S. G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. I. Atividades de polifenoloxidase e peroxidase, índice de coloração de acidez. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, p. 449-454, 1994.

CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S.; SILVA, R. C.; PANOBIANCO, M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1366-1371, 2012.

CENSO AGROPECUÁRIO 2006. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Rio de Janeiro 2006, 777 p.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: café** – v.1, n.3. Brasília: Conab, 2014, 62p.

CONAGIN, A. Discriminative power of a modified Bonferroni's test. **Revista de Agricultura**, v. 73, p. 31-40, 1998.

COSTA, C. H. G.; JUNIOR, L. G. C.; ANDRADE, F. T.; CHAGAS, I. S. P.; ALBERT, L. H. B. **Composição dos custos e margem líquida da cafeicultura nas principais regiões produtoras de café do Brasil**. Sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. Porto Alegre, 2009. 20 p.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL – CNA. **Alta dos fertilizantes afeta custos totais**. Ativos do café, 10ª edição, 2008, 4p.

CURVELO, C. R. S., RODRIGUES, F. A., SILVA, L. C., NASCIMENTO, K. J. T., BERGER, P. G. Mecanismos bioquímicos da defesa do algodoeiro. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p. 41-51, 2013.

CUSTODIO, A. A. P.; POZZA, E. A.; CUSTODIO, A. A. P.; SOUZA, P. E.; LIMA, L. A.; LIMA, L. M. Intensidade da ferrugem e da cercosporiose em cafeeiro quanto à face de exposição das plantas. **Coffee Science**, v. 5, n. 3, p. 214-228, 2010.

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

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

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação do potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n. 2, p.195-200, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3º ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 353 p.

FARNEZI, M. M. M.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G.; PINTO, N. A. V. D. Levantamento da qualidade da bebida do café e avaliação do estado nutricional dos cafeeiros do Alto Jequitinhonha, Minas Gerais, através do DRIS. **Ciência Agrotécnica**, v. 34, n. 5, p. 1191-1198, 2010.

FIORERI, I.; HILDEBRANDT, U.; ROSTAS, M. Salinity stress effects on direct and indirect defence metabolites in maize. **Environmental and Experimental Botany**, England, v. 122, p. 68-77, 2016.

KAPPES, C.; ARF, O.; ANDRADE, J. A. C. Produtividade do milho em condições de diferentes manejos do solo e de doses de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 1310-1321, 2013.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. **GPSi-ICIAG-UFU**, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 87 p. (Tese de Doutorado).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. Avaliação do estado nutricional. In: MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed., Piracicaba, Potafos, 1997. p.115-230.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R.; FERNANDES, D. R. Cultura de café no Brasil: Manual de recomendações. 3.ed. Rio de Janeiro, MAPA/Procafe, 2010. 542 p.

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentração de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 706-713, 2003.

MELLO, J. W.; PEREZ, D. V. Equilíbrio Químico das Reações no Solo. In: MELO, V. F.; ALLEONI, L. R. F. (Eds). **Química e Mineralogia do Solo - Parte I**. Viçosa: SBCS, 2009. 695 p.

MOTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; SERRAT, B. M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 28, p. 455-463, 2006.

PEREIRA, S. C. et al. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 4, p. 223-230, 2009.

RONCHI, C. P.; JUNIOR, J. M. S.; ALMEIDA, W. L.; SOUZA, D. S.; SILVA, N. S.; OLIVEIRA, L. B.; GUERRA, A. M. N. M.; FERREIRA, P. A. Morfologia radicular de cultivares de café arábica submetidas a diferentes arranjos espaciais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 3, p. 187-195, 2015.

ROSNER B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**. v. 25, p. 165 – 72, 1983.

SHARMA, V.; SHARMA, K. M. Influence of accompanyin anions and potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. **Pedosphere**, v. 24, n. 4, p. 464-171, 2013.

SILVA, E.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; CHAGAS, S. J. R.; COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 3, p. 335-345, 1999.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E; **Fisiologia Vegetal**. Tradução Armando Molina Divan Junior. 5ª ed. – Porto Alegre: Artmed, 2013. 918p.

TEIXEIRA, A. M. S.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E.; SAMPAIO, J. A. Effect of thermal treatments on the potassium and sodium availability in phonolite rock poder. **International Journal of Mineral Processing**. v. 145, p. 57-65, 2015.

## CAPÍTULO II – TERMOPOTÁSSIO E FONOLITO SÃO FONTES PROMISSORAS PARA A FERTILIZAÇÃO DE PASTAGENS

### RESUMO

A grande dependência externa brasileira por fertilizantes potássicos e a demanda por fontes de K aplicáveis à produção orgânica e agroecológica estimula pesquisas em busca de fontes alternativas de fertilizantes. Neste sentido, neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito de fontes alternativas de K sobre características químicas do solo e sobre a produtividade e nutrição do capim braquiária. Um experimento foi conduzido em um esquema fatorial  $(3 \times 2) + 3$ , com quatro repetições, sendo três fontes de potássio (cloreto de potássio, termopotássio e pó de fonolito), duas doses de K e três tratamentos adicionais. As fontes alternativas afetaram positivamente a produção de matéria seca do capim braquiária e foram efetivas na liberação de K e Si às plantas ou ao solo. Em geral, para o período avaliado a liberação de nutrientes pelo termopotássio foi superior ao pó de fonolito e inferior ao KCl. O fonolito aplicado na dose correspondente a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  promoveu também significativa liberação de Na no solo. O acúmulo de Na no solo, no entanto, foi amenizado no tratamento adicional que recebeu fonolito com gesso. As fontes alternativas testadas demonstraram-se promissoras considerando a aplicação em dose única, a característica multinutriente e a possibilidade de redução dos custos da adubação potássica.

**Palavras-chave:** pó de rocha, fontes alternativas de potássio, termofertilizante

### INTRODUÇÃO

De acordo com o último Censo Agropecuário Brasileiro (IBGE, 2006), o Brasil possui mais de 170 milhões de hectares formados por pastagens, sejam naturais ou plantadas. Em geral, as forrageiras utilizadas no Brasil apresentam elevados teores de potássio (K) em suas folhas. Esta demanda por K, associada à uma inadequada ciclagem de nutrientes, amplia a demanda por fontes externas à propriedade.

O principal fertilizante fonte de potássio utilizado no Brasil é o cloreto de potássio (KCl). De acordo com os dados do IBRAM (2011), o Brasil importa aproximadamente 90% do K que necessita. Desta forma, torna-se importante estudar fontes alternativas de

fertilizantes potássicos que possam ser utilizadas na agricultura para reduzir a vulnerabilidade do agronegócio brasileiro quanto a dependência por este insumo.

Fontes alternativas de potássio podem representar opções de menor impacto ambiental desde que envolvam transporte em menores distâncias e processos de produção menos onerosos energeticamente. As fontes alternativas de nutrientes podem representar, também, opções social e economicamente interessantes uma vez que possibilitam algum nível de descentralização e distribuição do mercado de fertilizantes.

O potássio é um cátion pouco adsorvido nos colóides dos solos tropicais altamente intemperizados, móvel no perfil e, portanto, suscetível a lixiviação. As perdas por lixiviação ocorrem especialmente quando são empregados fertilizantes de alta solubilidade como o cloreto de potássio (Sharma & Sharma, 2013). Em solos arenosos ou com baixa capacidade de troca de cátions e sob alta pluviosidade as perdas são potencialmente maiores, podendo chegar a mais de 25% do K aplicado (Duarte et al., 2013).

Neste sentido, o uso de fontes menos solúveis confere uma liberação mais lenta dos nutrientes e assim menor suscetibilidade destes às perdas por lixiviação. O uso de fontes de liberação lenta nas pastagens é interessante também pelo fato de ser uma cultura perene, cuja absorção de nutrientes ocorre por um longo período do ano.

O fonolito é uma rocha ígnea cuja composição mineralógica é, predominantemente, formada por minerais do grupo dos feldspatos potássicos. Esta rocha contém de 8 a 12% de  $K_2O$  a depender de sua origem, sendo considerada uma fonte alternativa de potássio às plantas (Teixeira et al., 2012). Contudo, a liberação do K desta fonte é mais lenta quando comparado às fontes convencionais, uma vez que o K está ligado à estrutura dos minerais silicatados da rocha.

Outra fonte alternativa é o termopotássio. Este fertilizante pode ser obtido basicamente por dois processos térmicos distintos, calcinação ou fusão. O processo de calcinação utiliza comumente um aquecimento de 800 até 1200 °C na presença de carbonatos (Silva et al., 2012; Martins et al., 2015) para quebrar ou fragilizar estruturas cristalinas de minerais. O processo de fusão, por outro lado, baseia-se na fusão completa da rocha (podendo exigir até 1500 °C) seguido de um resfriamento rápido que impede a recristalização dos minerais.

A rocha ígnea potássica utilizada é de ocorrência relativamente rara no Brasil, sendo extraída no maciço alcalino de Poços de Caldas com teores de até 12% de  $K_2O$  (Cortes et al., 2010). Além do K, estas fontes fornecem outros elementos, com destaque



para o Si e alguns micronutrientes. No caso do termopotássio merece destaque também o elevado teor de fósforo, oriundo de uma das rochas utilizadas no processo.

Diante do potencial das fontes alternativas de K, objetivou-se avaliar o efeito do fonolito e do termopotássio sobre características químicas do solo, produtividade e nutrição de *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) *decumbens*.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado nas dependências da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Rio Paranaíba (19° 12'35" S e 46°7'57" O a 1.125 m de altitude). A pastagem da área experimental foi formada por gramíneas da espécie *Brachiaria* (syn. *Urochloa*). O solo da área experimental foi classificado de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2013) como um Latossolo Vermelho-Amarelo com textura muito argilosa.

Para caracterização da fertilidade da área experimental, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-20 e 20-40 cm em novembro de 2014. Para cada amostra composta, foram coletadas aleatoriamente 20 amostras simples com o auxílio de um trado tipo sonda de PVC. O solo foi seco, peneirado em peneira com malha de 2 mm e as amostras encaminhadas para análise química de acordo com metodologias descritas em Donagema et al. (2011) (Tabela 1).

**Tabela 1.** Características químicas do solo da área experimental com *U. decumbens*

Pastagem	pH	P (Mehl.1)	P-rem	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>
	H <sub>2</sub> O	mg dm <sup>-3</sup>	mg L <sup>-1</sup>	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....
0-20 cm	6,8	9,3	11,0	0,10	4,0	1,3	0
20-40 cm	6,8	0,6	7,1	0,01	2,7	0,9	0
Pastagem	H+Al	SB	t	T	V	m	M.O.
	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> .....	.....%	.....%	.....%
0-20 cm	2,71	5,40	5,40	8,11	66,6	0	2,9
20-40 cm	2,37	3,61	3,61	5,98	60,4	0	2,1

Ca, Mg e Al (KCl 1 mol L<sup>-1</sup>); P e K (Mehlich-1). t: CTC efetiva, total de cargas negativas do solo no pH atual; T: CTC potencial, quantidade de cargas negativas que o solo poderá ter em pH 7; V: saturação por bases; m: saturação por alumínio; P-rem: fósforo remanescente; M.O.: Matéria orgânica do solo.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados buscando controlar o efeito de uma suave declividade na área experimental. Os tratamentos foram estruturados em um esquema fatorial (3 x 2) + 3, com quatro repetições, sendo três fontes de potássio (cloreto de potássio (57 % de K<sub>2</sub>O), termopotássio (3,9 % de K<sub>2</sub>O; 27,9 %

SiO<sub>2</sub>; 8,6 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e pó de fonolito (8 % K<sub>2</sub>O; 54 % SiO<sub>2</sub>; 6,74 % Na<sub>2</sub>O)) aplicadas em duas doses correspondentes a 150 e 400 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (tratamentos T1 a T6), mais um tratamento controle (0 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) (T7), um tratamento controle (0 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O) com a quantidade de fósforo nivelada com o tratamento termopotássio na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O (T8: Controle + P) e um tratamento controle positivo com aplicação de fonolito na maior dose juntamente com gesso na dose de 4 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> (T9: Fon + Gesso). O tratamento T8 foi incluído para servir de controle ao tratamento termopotássio aplicado na maior dose (nivelar as doses de P entre eles). O tratamento T9 foi incluído com o objetivo de conhecer o efeito do gesso sobre a mobilidade do K e do Na disponibilizados pelo fonolito.

O termopotássio utilizado foi obtido através da fusão de três rochas (rocha ígnea fosfática, serpentinito e rocha ígnea potássica), que foram posteriormente resfriadas rapidamente com água para a formação de materiais não-cristalinos (amorfos). O processo de produção foi, portanto, análogo ao termofosfato obtido por fusão.

Os fertilizantes fonolito e termopotássio foram aplicados ao solo em parcela única na implantação do experimento, no início da estação chuvosa da safra 2014/2015. O cloreto de potássio foi parcelado em 3 vezes iguais, sendo a primeira parcela na implantação do experimento e as outras duas após o primeiro e segundo ciclos.

Uma adubação de base foi realizada utilizando-se fosfato monoamônico (MAP) (52% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) como fonte de fósforo (P) na dose correspondente a 120 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Como fonte de nitrogênio (N) foram utilizados MAP (11% N) e nitrato de amônio (32% N) na dose correspondente a 150 kg ha<sup>-1</sup> de N. Um mês antes da aplicação dos tratamentos foi realizada uma roçada na área experimental com o intuito de estimular a brotação da forrageira. Logo após a roçada aplicou-se de todo o fósforo e um terço do N recomendado. Ademais, o segundo parcelamento ocorreu por ocasião da aplicação dos tratamentos e o terceiro após o primeiro ciclo.

As unidades experimentais foram constituídas por parcelas de 20,25 m<sup>2</sup> (4,5 x 4,5 m) e os ciclos vegetativos de aproximadamente 21 dias. A avaliação da produtividade da forrageira foi feita em 3 ciclos de crescimento. Para tanto, um gabarito de 0,25 m<sup>2</sup> foi utilizado para amostragem da produção de biomassa pela parte aérea. O gabarito foi lançado aleatoriamente dentro da parcela, onde a forragem foi amostrada com uma altura de corte de 10 cm em relação ao solo (Burns et al., 1989).

As amostras vegetais foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 72 horas. Após a secagem, as amostras

foram trituradas em moinho tipo Willey e os teores de K, P, Si foram determinados conforme metodologia descrita em Silva (2009) e Korndörfer et al. (2004).

Com o intuito de simular a exportação de forragem (pastejo) e nutrientes, após cada ciclo realizou-se uma roçada na área experimental com altura de corte igual a 10 cm. Posteriormente o material roçado foi rastelado para fora de cada unidade experimental.

Ao final do ano agrícola foi coletado uma amostra de solo composta em cada uma das unidades experimentais. Foram coletadas 15 amostras simples por unidade experimental nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. As amostras compostas foram secas ao ar, passadas por peneira de malha de 2 mm e tiveram os teores de K, P, Si, Na disponíveis no solo determinados.

O Si disponível no solo foi extraído pelo extrator ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e determinado por espectrofotometria de absorção molecular pelo método azul (Leite, 1997). Os demais elementos foram extraídos em solução Mehlich-1 (relação solo:extrator de 1:10), sendo que os elementos Na e K foram determinados por espectrometria de chama, o P foi determinado por espectrometria de absorção molecular conforme Donagema et al. (2011).

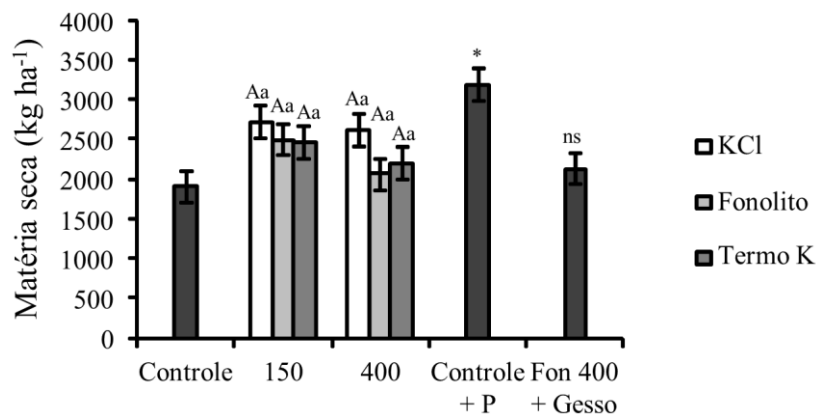
Os dados foram submetidos aos testes de Hartley, Jarque-Bera (Jarque & Bera, 1980) e ESD Generalizado (Rosner, 1983) para avaliação das condições de homogeneidade das variâncias, normalidade dos resíduos e presença de outliers, respectivamente. Em seguida, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas entre si pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK) a 5% de probabilidade. Comparações adicionais foram avaliadas por contrastes de interesse testados pelo teste de Bonferroni modificado por Conagin (1998). Estes contrastes, definidos a priori, foram  $\hat{C}_1$ : T8-T6 e  $\hat{C}_2$ : T9-T5. As comparações com o tratamento controle (T7) basearam-se apenas na estatística descritiva apresentada (valores de médias e erro padrão). Quando os dados não atenderam aos pressupostos para a ANOVA foram realizadas transformações nos dados originais (logarítmica ou raiz quadrada) ou foi utilizada apenas estatística descritiva.

## **RESULTADOS**

### **Crescimento e disponibilidade de nutrientes às plantas**

De modo geral, as fontes e doses de potássio aplicadas influenciaram positivamente a produtividade da forrageira em relação ao controle, embora não tenham diferido entre si (Figura 1). No entanto, o tratamento adicional T8, com adição de P

equivalente à T6 mas com uma fonte de P com maior solubilidade, aumentou a produção de matéria seca em relação ao tratamento termopotássio conforme evidenciado pela significância de  $\hat{C}_1$  (Figura 1).

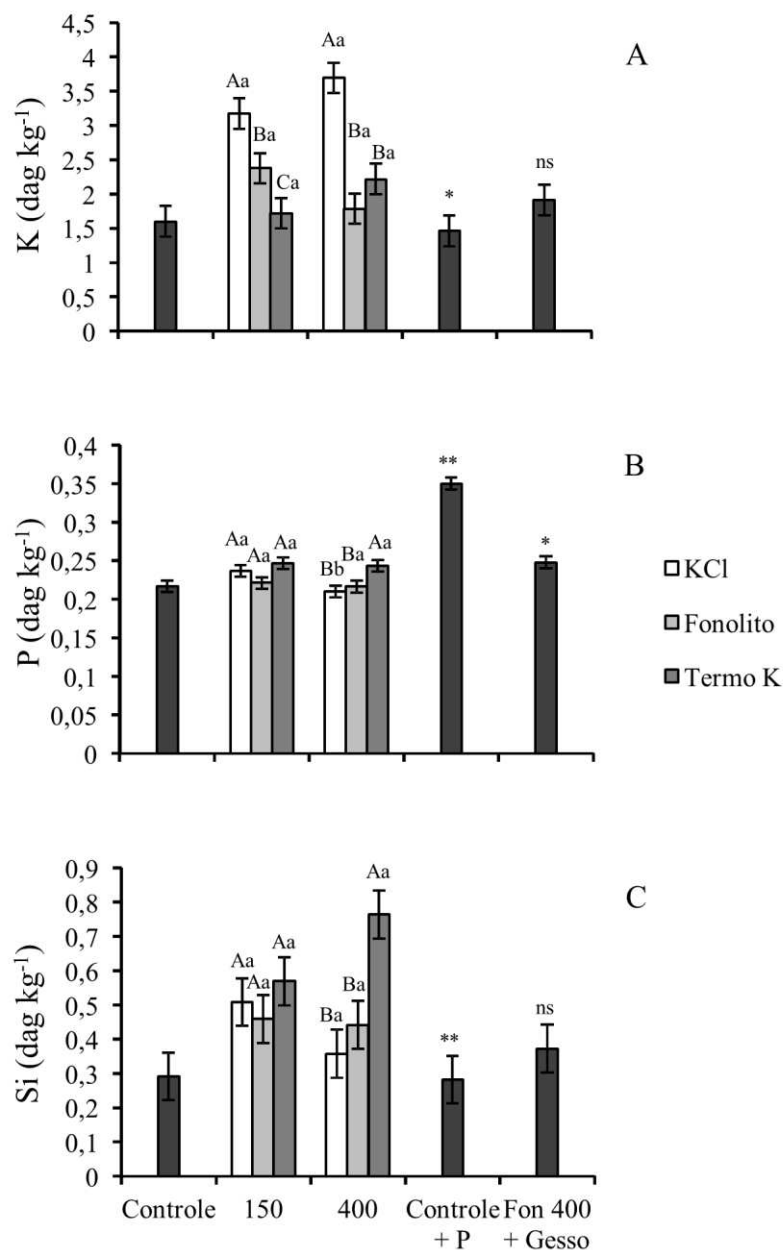


**Figura 1.** Produção de massa seca total, em três ciclos de corte, de capim braquiária em função da aplicação de diferentes doses e fontes de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

As fontes de K afetaram significativamente os teores de K na parte aérea do capim braquiária (Figura 2A). O KCl foi a fonte que propiciou os maiores teores em ambas as doses (150 e 400 kg ha<sup>-1</sup>). Apesar de promoverem incrementos inferiores ao KCl, as fontes de menor solubilidade elevaram os teores de K na forrageira em até 38,7 % para o termopotássio e em até 48,8 % para o fonolito em relação ao tratamento controle.

As fontes de K aplicadas pouco afetaram os teores de P na forrageira (Figura 2B). O termopotássio aplicado na maior dose promoveu um pequeno incremento nos teores de P da forrageira em relação às demais fontes. O tratamento que recebeu fonolito e gesso também resultou em um ligeiro aumento nos teores de P no capim braquiária em relação ao tratamento com apenas fonolito (Figura 2B).

Os teores de Si na parte aérea das plantas foram aumentados em função da aplicação das fontes alternativas de K em relação ao controle. Na maior dose aplicada, o termopotássio aumentou o teor de Si na braquiária em 160 % em relação ao controle (Figura 2C). Contudo, não foram observadas diferenças nos teores de Si na parte aérea entre as fontes de potássio quando aplicadas na dose correspondente a 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

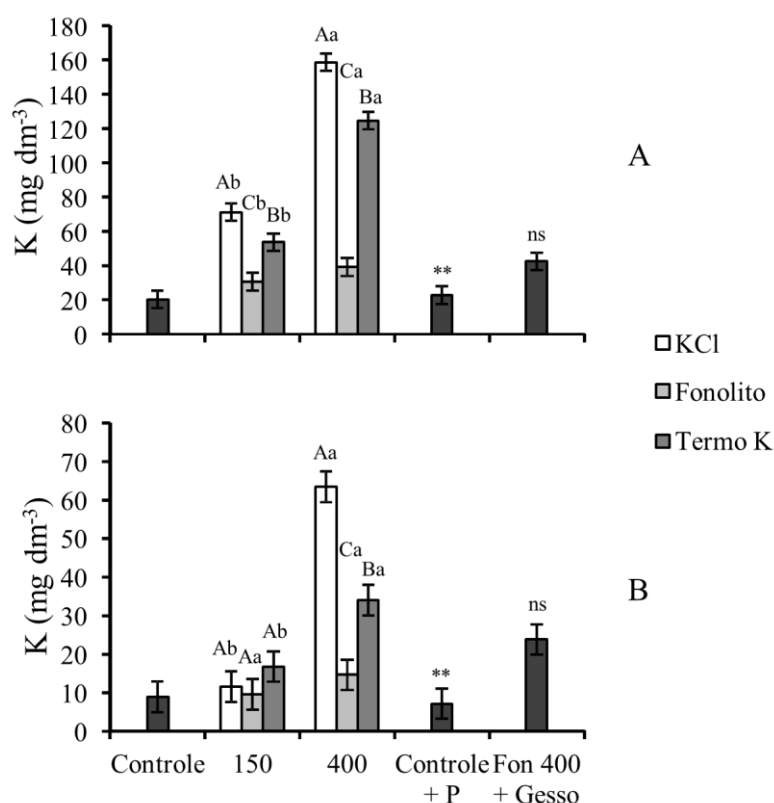


**Figura 2.** Teores de potássio (A), fósforo (B) e silício (C) na parte aérea de capim braquiária em função da aplicação de diferentes fontes e doses de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

### Disponibilidade de nutrientes no solo

Na camada superficial, em ambas as doses aplicadas, as fontes de K aumentaram significativamente o K disponível no solo em relação ao controle (Figura 3A). Nas duas doses avaliadas (150 e 400 kg ha<sup>-1</sup>), a fonte solúvel (KCl) proporcionou maiores níveis deste nutriente no solo, seguido pelo termopotássio e pelo fonolito, respectivamente. Além disso, houveram diferenças significativas entre as doses utilizadas

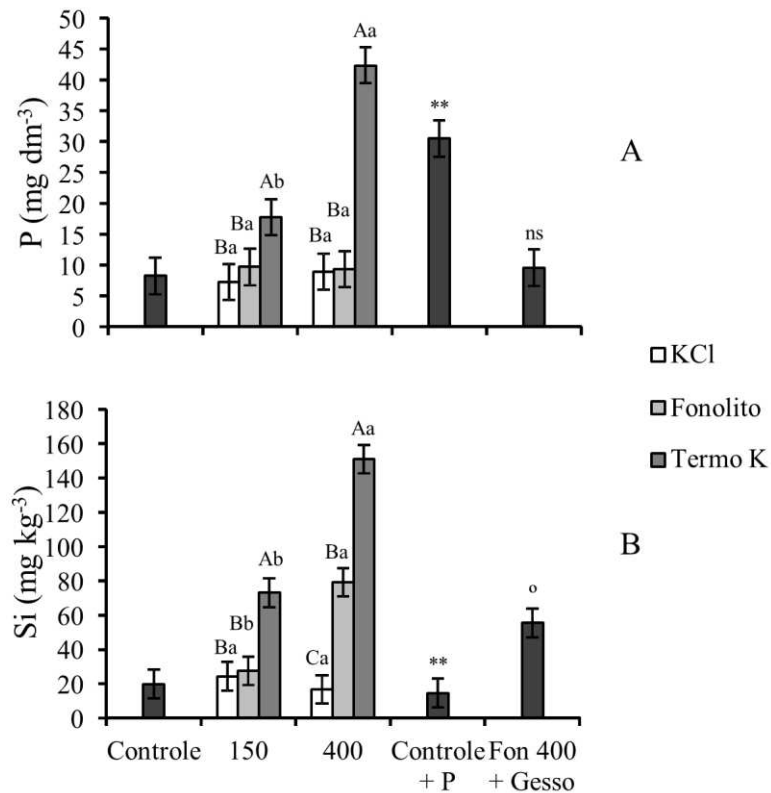
Na camada subsuperficial (20-40 cm) o mesmo padrão foi observado apenas na maior dose, mas houve aumento da diferença entre o KCl e as fontes de menor solubilidade, em relação à camada superficial (Figura 3B). Na maior dose de K aplicada, a quantidade de K que atingiu a camada de 20-40 cm após o uso do KCl foi o dobro da quantidade liberada pelo termopotássio, mesmo com a fonte solúvel sendo aplicada parceladamente.



**Figura 3.** Potássio disponível no solo nas camadas de 0-20 (A) e 20-40 cm (B) em função da aplicação de diferentes fontes e doses de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \* ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1 ou 5 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

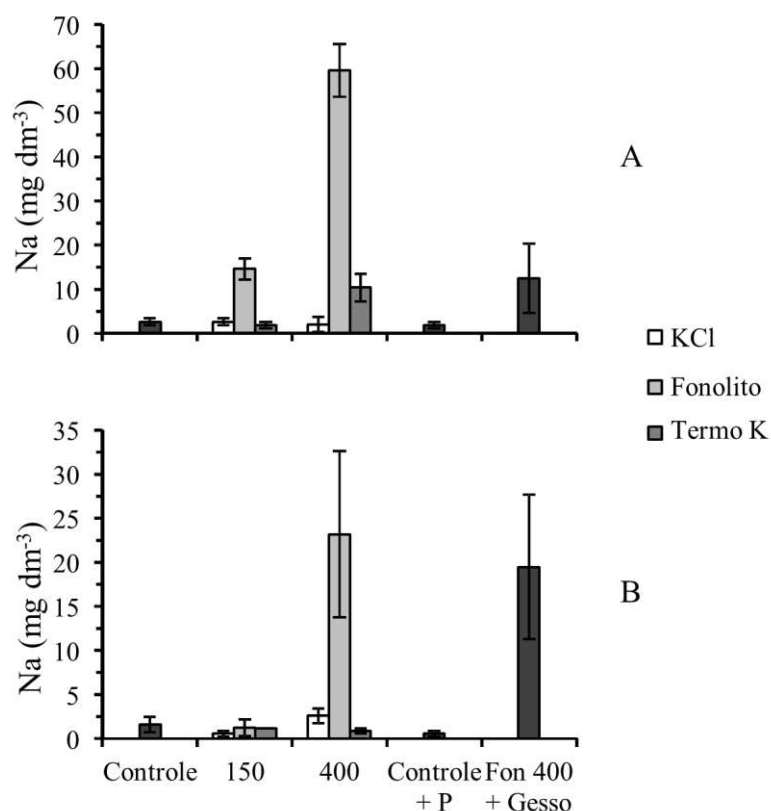
Dentre as fontes avaliadas, apenas o termopotássio influenciou a disponibilidade de P no solo (Figura 4A). A significância do contraste  $\hat{C}_1$  indicou um maior incremento no P extraído por Mehlich-1 no solo fertilizado com termopotássio em relação ao fertilizado com uma fonte solúvel de P (T8: Controle + P) (Figura 4A).

Os fertilizantes fonolito e termopotássio promoveram incrementos na disponibilidade de Si no solo de até 301 e 665 % em relação ao controle, respectivamente (Figura 3B). Na menor dose aplicada, no entanto, apenas o termopotássio diferiu do KCl quanto à disponibilização de Si no solo.



**Figura 4.** Fósforo (A) e silício (B) disponíveis no solo, na camada de 0-20 cm, em função da aplicação de diferentes fontes e doses de potássio. Médias seguidas pela mesma letra maiúscula entre fontes e minúscula entre doses não diferiram entre si pelo teste SNK a 5 % de probabilidade. \*\*, \*, ° ou “ns” representam a significância ou não dos contrastes  $\hat{C}_1$  e  $\hat{C}_2$  ao nível de 1; 5 e 10 % de probabilidade. Barras correspondem ao erro padrão.

As fontes de K aplicadas influenciaram, claramente, a disponibilidade de Na no solo. O fonolito aplicado na dose correspondente a 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O elevou a disponibilidade de Na para até 59,6 mg dm<sup>-3</sup> (Figura 5A). Esta elevação foi também observada na camada de 20-40 cm do solo. O fonolito aplicado na presença de gesso (T9: Fon 400 + Gesso), no entanto, resultou na elevação do Na disponível para apenas 12,5 mg dm<sup>-3</sup>. Na camada de 20-40 cm o tratamento T9 não diferiu do tratamento que recebeu apenas fonolito na maior dose (Figura 5B).



**Figura 5.** Sódio disponível no solo nas camadas de 0-20 (A) e 20-40 cm (B) em função da aplicação de diferentes fontes e doses de potássio. Barras correspondem ao erro padrão da média.

## DISCUSSÃO

### Crescimento e disponibilidade de nutrientes às plantas

As fontes de K aplicadas influenciaram a produtividade de forragem da pastagem em relação ao controle. Este resultado sugere que o fonolito e o termopotássio podem ser opções interessantes para a fertilização de pastagens em substituição ao KCl, tanto pela menor necessidade de parcelamentos na adubação quanto para atender a demanda por fertilizantes de produtores orgânicos. Os incrementos resultantes da aplicação das fontes alternativas, no entanto, foram pequenos. Considerando que o ganho resultante da aplicação de KCl também foi pequeno na pastagem estudada, pode-se atribuir este fato à maior limitação causada por outro fator de crescimento.

Estes resultados são distintos dos observados por Martins et al. (2015). Os autores avaliaram a utilização de fontes alternativas de potássio em vasos cultivados com *Brachiaria* (syn. *Urochloa*) *brizantha* e observaram que o fonolito não incrementou a matéria seca da folha da forrageira.



Apesar dos tratamentos termopotássio 400 e Controle + P fornecerem a mesma quantidade de P por hectare, o segundo proporcionou à pastagem maior produção de parte aérea nos três primeiros cortes. Isso pode ser explicado pela diferença entre a disponibilização do P das duas fontes para as plantas, uma vez que no controle a fonte do nutriente é o MAP, com maior solubilidade que a do termofertilizante. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2008), que obtiveram maior produção de parte aérea de *B. brizantha* nos primeiros 4 ciclos quando foram utilizadas fontes mais solúveis de fósforo.

A elevação nos teores de K na parte aérea da forrageira promovida pelas fontes de K utilizadas (Figura 2A) estão, muito provavelmente, relacionadas com a solubilidade das fontes testadas. Dessa forma, a fonte mais solúvel promoveu, como esperado, maiores incrementos que as fontes de menor solubilidade. Considerando que a produtividade não diferiu entre as fontes, pode-se inferir que as fontes alternativas foram mais eficientes e resultaram, provavelmente, num menor consumo de luxo do nutriente que o KCl. No entanto, pelo percentual de aumento observado no curto prazo, no médio e longo prazo pode-se ter melhores resultados dos teores de K foliares.

Das fontes utilizadas, apenas o termopotássio na dose 400 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, incrementou o fósforo na parte aérea da forrageira (Figura 2B). Este resultado deve-se ao fato do termofertilizante conter significativa quantidade de fósforo (8,6 % P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) em sua composição. As demais fontes não são fontes significativas de P, embora pudesse ser esperado alguma elevação na absorção de P como resultado indireto da disponibilização de Si, tal como já observado por Castro e Crusciol (2013).

A significância do contraste  $\hat{C}_1$  na Figura 2B pode ser explicada pela diferença de solubilidade entre as fontes, onde a fonte mais solúvel (MAP) do controle (T8) proporcionou maior quantidade do nutriente na planta. Resultados semelhantes foram obtidos por Costa et al. (2008), que trabalhando com diferentes fontes de P em *U. brizantha* cv. Marandu, verificaram que a fonte mais solúvel foi a que proporcionou a forrageira o maior acúmulo do nutriente após 4 cortes.

A diferença observada no contraste  $\hat{C}_2$ , com maior teor de P na parte aérea da forrageira pela adição do gesso ao fonolito deve-se provavelmente pela competição pelos sítios de adsorção entre os ânions sulfato e fosfato (Geelhoed et al., 1997). Mesmo que temporariamente, o ânion sulfato pode atrasar a adsorção do ânion fosfato, deixando-o um pouco mais disponível para as plantas. Segundo Carvalho (2014), no entanto, este efeito pode não estar associado à competição entre os ânions, mas à simples presença de P como um contaminante expressivo dos gessos de uso agrícola.

As fontes alternativas de K promoveram incrementos nos teores de Si na parte aérea da forrageira, com destaque para o termopotássio aplicado na maior dose (Figura 2C). As diferenças entre fonolito e termopotássio nesse caso, sugerem que o termopotássio seja, de fato, uma fonte silicatada mais reativa que o fonolito. Assim, apesar da litoquímica mais favorável ao intemperismo do fonolito, o tratamento térmico aplicado ao termopotássio resultou em materiais mais facilmente alteráveis.

A concepção multinutriente das fontes silicatadas alternativas tem nos micronutrientes, na menor solubilidade e nos elementos benéficos, como o Si, boa parte de suas potencialidades enquanto fontes que podem resultar em melhor equilíbrio nutricional. O Si que pode trazer benefícios as plantas, sobretudo nos mecanismos das plantas de resistência a estresses bióticos e abióticos, conforme demonstrado em diversos trabalhos (Naranjo et al., 2013; Curvêlo et al., 2013; Schurt et al., 2015).

As gramíneas de maneira geral são mais eficientes na absorção de Si que as dicotiledôneas, já que possuem em suas raízes proteínas transportadoras de Si (Pereira et al., 2009).

### **Disponibilidade de nutrientes no solo**

As fontes e doses de K testadas influenciaram os níveis de K disponível no solo na camada de 0-20 cm. As fontes alternativas foram capazes de aumentar os teores de K, com destaque para o termofertilizante que na maior dose elevou o nutriente a um nível considerado adequado às pastagens ( $124,8 \text{ mg dm}^{-3}$ ) mesmo no curto prazo (Sousa et al., 2001). A aplicação de pó de fonolito também resultou em um incremento significativo de K no solo, de 20,2 para  $39,3 \text{ mg dm}^{-3}$ , embora bastante inferior às demais fontes. A diferença no potencial de disponibilização de K no solo pelas fontes fonolito e termopotássio seguiu, portanto, uma tendência distinta da observada para o teor de K na parte aérea das plantas.

Estes resultados corroboram com os observados por Junior et al. (2009), que trabalhando com *B. brizantha* cv. Marandu verificaram que o termopotássio utilizado também aumentou os níveis de K disponível no solo. Apesar do fonolito e do termopotássio serem fontes menos solúveis, o termofertilizante é formado obtido por uma fusão de rochas enquanto o fonolito é obtido pela simples moagem de uma rocha. As altas temperaturas do processo de fusão rompem as complexas estruturas cristalinas dos minerais da rocha, que não são restituídas posteriormente devido ao rápido resfriamento realizado. Desta forma, a fonte fica mais reativa, e os elementos mais disponíveis no solo

para as plantas (Galetto et al., 2014). Isso pode explicar a maior disponibilidade de K que o termopotássio proporcionou em relação ao fonolito.

Na camada 20-40 cm, os resultados mostraram que na dose 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O as fontes não diferiram entre si, contudo na dose 400 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O o KCl promoveu um aumento muito expressivo no teor de K. Este é um cenário indesejável já que sugere que o K esteja alcançando também camadas mais profundas (abaixo de 40 cm) e, assim reduzindo as chances de ser recuperado pelas culturas. Este aumento do K em subsuperfície promovido pelo KCl demonstra a maior suscetibilidade às perdas por lixiviação desta fonte mesmo quando aplicado na forma parcelada, tal como também apontado por Sharma e Sharma (2013).

Utilizando termopotássio calcinado e KCl, Duarte et al. (2013) compararam a lixiviação de K oriundo destas duas fontes. Os autores verificaram que independentemente do tipo de solo, o K do KCl foi muito mais lixiviado. Isso ocorre devido a composição do KCl, que é constituído de minerais de maior solubilidade (silvita), o que não ocorre com o termopotássio. Neste sentido, o uso de fontes menos solúveis na pastagem é uma alternativa, outra opção é o aumento do parcelamento das adubações quando se trata de altas doses, tendo em vista o melhor aproveitamento dos fertilizantes (Santi et al., 2013).

O P disponível no solo diferiu entre as fontes dentro de cada uma das doses aplicadas. Este aumento seguiu a tendência observada nos teores de P na parte aérea da forrageira. Contudo, na comparação com o controle + P (T8), onde as quantidades fornecidas foram niveladas, o termofertilizante foi superior na disponibilização do P. Este resultado é distinto ao observado no tecido vegetal, onde a fonte mais solúvel promoveu maior teor do nutriente nas folhas. Todavia, ressalta-se que o extrator utilizado nas análises de solo foi Mehlich-1. Por se tratar de um extrator ácido este pode ter extraído uma fração do P do termofertilizante que não está acessível para as plantas (fator Q) no curto prazo (Silva e Raij, 1999).

O Si disponibilizado no solo pelas fontes silicatadas refletiu uma tendência muito semelhante à expectativa teórica de resposta, considerando a efetividade do tratamento térmico em quebrar a estrutura cristalina das rochas usadas na fabricação do termofertilizante. Como as rochas utilizadas para a obtenção das fontes alternativas aqui estudadas são silicatadas, o silicato é o ânion acompanhante da maioria dos cátions presentes. Logo a disponibilização de Si pode ser considerada como indicadora geral do nível de intemperismo sofrido pelas fontes.

Tal efeito demonstra, portanto, que o tratamento térmico superou a condição litoquímica mais favorável ao intemperismo do fonolito. O pó de fonolito, no entanto, possui um custo energético e financeiro inferior aos termofertilizantes já que é obtido a partir da simples moagem e tamisação de rejeitos de materiais destinados à construção civil no Planalto de Poços de Caldas.

O aumento do Si disponível no solo provocado pelo fonolito e termopotássio na dose equivalente a  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ , correspondem respectivamente a 9,5 e 19,7% do Si aplicado. Desta forma, ressalta-se a maior reatividade do termofertilizante através da disponibilização do elemento benéfico.

O aumento do Na no solo provocado pelo fonolito aplicado na maior dose correspondeu à disponibilização de 63,7 % do Na total aplicado. A elevação observada neste trabalho foi correspondente à um nível de saturação por Na no solo de 3,2 %. Acima de 6 % os solos adquirem caráter solódico, indicativo de condições de risco de toxicidade às plantas. Na maioria das rochas ígneas e metamórficas altos teores de K são acompanhados de altos teores de Na. Tal fato não é diferente para o fonolito, que apresenta  $6,74 \text{ dag kg}^{-1}$  Na total expresso como  $\text{Na}_2\text{O}$ . A disponibilização elevada deste elemento aponta, portanto, para a necessidade de cuidados no uso contínuo de altas doses desta fonte, uma vez que os malefícios do estresse salino são bem conhecidos, como redução na fotossíntese, desbalanço osmótico e redução no crescimento das plantas (Carvalho et al., 2012; Benincasa et al., 2013; Forieri et al., 2016).

Apesar disso, os dados do presente trabalho demonstraram que a simples aplicação de gesso concomitantemente à aplicação do fonolito foi efetiva em minimizar a elevação do Na no solo (Figura 4A). Estes resultados corroboram com Filho et al., (2012) e Stamford et al. (2015) que trabalhando com doses crescentes de gesso verificaram que este condicionador de solo foi eficiente em reduzir o Na trocável do solo. Na camada de 20-40, no entanto, a elevação dos níveis de Na mesmo na presença de gesso ainda foi expressiva, o que revela a necessidade de mais avaliações de longo prazo.

## CONCLUSÕES

O pó de fonolito e o termopotássio obtido por fusão são fontes alternativas de potássio com efetiva liberação de K às plantas e de Si e K ao solo. Ambas as fontes são menos reativas que o KCl, mas sua aplicação resulta em menores chances de lixiviação de K mesmo que o KCl seja aplicado parceladamente.

O uso contínuo do fonolito em doses elevadas deve ser visto com cautela, tendo em vista a elevada disponibilização de sódio no solo. A aplicação conjunta com gesso, no entanto, é muito eficiente em minimizar o acúmulo de sódio causado pela aplicação do fonolito em doses elevadas.

Fonolito e termopotássio são opções interessantes para a fertilização de pastagens, tanto pela menor necessidade de parcelamentos na adubação quanto para atender a demanda por fertilizantes potássicos de produtores orgânicos.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

BENINCASA, P.; PACE, R.; QUINET, M.; LUTTS, S. Effect of salinity and priming on seedling growth in rapeseed (*Brassica napus* var *oleifera* Del.). **Acta Scientiarum-Agronomy**, v. 35, n. 4, p. 479-486, 2013.

BURNS, J. C.; LIPPKE, H.; FISHER, D. S. 1989. **The relationship of herbage mass and characteristics to animal responses in grazing experiments**. p. 7-19. In: Marten, G. C. (ed.) *Grazing research: design, methodology, and analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1989, 136 p.

CARVALHO, T. C.; SILVA, S. S.; SILVA, R. C.; PANOBIANCO, M. Germinação e desenvolvimento inicial de plântulas de soja convencional e sua derivada transgênica RR em condições de estresse salino. **Ciência Rural**, v. 42, n. 8, p. 1366-1371, 2012.

CARVALHO, B. G. **Interação entre fósforo, silício e enxofre em um latossolo e biodisponibilização de fósforo de fontes de baixa solubilidade por processos de compostagem**. Rio Paranaíba: Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2014. 57 p. Dissertação de Mestrado.

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

CENSO AGROPECUÁRIO 2006. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 777 p.

CONAGIN, A. Discriminative power of a modified Bonferroni's test. **Revista de Agricultura**, v. 73, p. 31-40, 1998.

CORTES, G. P.; FERREIRA, R. C.; CORTES, G. P.; RAMPAZZO, L.; FERREIRA, L. C. Fonolito como substituto do cloreto de potássio e/ou outras fontes de potássio na agricultura e pecuária no Brasil. In: MARTINS, E.S.; THEODORO, S.H. (Eds). **Anais do I Congresso Brasileiro de Rochagem**, Embrapa Cerrados, 2010. 271-276 p.

COSTA, S. E. V. de A; NETO, A. E. F.; RESENDE, A. V.; SILVA, T.O.; SILVA, T. R. Crescimento e nutrição da braquiária em função de fontes de fósforo. **Ciência Agrotécnica**, v. 32, n. 5, p. 1419-1427, 2008.

CURVÊLO, C. R. S.; RODRIGUES, F. A.; SILVA, L. C.; NASCIMENTO, K. J. T.; BERGER, P. G. Mecanismos bioquímicos da defesa do algodoeiro à mancha de ramulária mediados pelo silício. **Bragantia**, v. 72, n. 1, p.41-51, 2013.

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

DUARTE, I. N.; PEREIRA, H. S.; KORNDÖRFER, G. H. Lixiviação do potássio proveniente do termopotássio. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 32, n. 2, p.195-200, 2013.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 3º ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2013. 353 p.

FILHO, A. N. T.; BARROS, M. F. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, E. F. F. Incorporação de gesso para correção da salinidade e sodicidade da solos salino-sódicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 3, p. 247-252, 2012.

FIORERI, I.; HILDEBRANDT, U.; ROSTAS, M. Salinity stress effects on direct and indirect defence metabolites in maize. **Environmental and Experimental Botany**, England, v. 122, p. 68-77, 2016.

GALETTO, S. L.; FONSECA, A. S.; HARKATIN, S.; REIFUR, H.; CARVALHO, I. Q.; Grain crops and forage yield resulting from the use of phosphates in integrated production system. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, n. 5, p. 931-945, 2014.

GEELHOED, J.S.; HIEMSTRA, T.; Van RIEMSDIJK, W.H. Phosphate and sulfate adsorption on goethite: Single anion and competitive adsorption. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 2389-2396, 1997a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO - IBRAM. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. IBRAM, 2011. 6ª edição, 3p.

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

JUNIOR, O. V.; COUTINHO, E. L. M. Effectiveness of fused magnesium potassium phosphate for marandu grass. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1855-1862, 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. Análise de silício: solo, planta e fertilizante. **GPSi-ICIAG-UFU**, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

LEITE, P. C. **Interação silício-fósforo em latossolo roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1997. 87 p. (Tese de Doutorado).

MARTINS, V.; GONÇALVES, A. S. F.; MARCHI, G.; GUILHERME, L. R. G.; MARTINS, E. F. Solubilização de potássio em misturas de verdete e calcário tratadas termoquimicamente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 1, p. 66-72, 2015.

NARANJO, M. E.; MORENO, L. A.; DAVY, A. J. Silicon alleviates deleterious effects of high salinity on the halophytic grass *Spartina densiflora*. **Plant Physiology and Biochemistry**. v. 63, p. 115-121, 2013.

PEREIRA, C. P.; RODRIGUES, F. A.; CARRÉ-MISSIO, V.; OLIVEIRA, M. G. A.; Zambolim, L. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e

potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, 2009.

ROSNER B. Percentage points for a generalized ESD many-outlier procedure. **Technometrics**. v. 25, p. 165 – 72, 1983.

SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P.; FLORA, L. P. D.; AMADO, T. J. C.; CHERUBIN, M. R. Épocas e parcelamento da adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca, em semeadura direta. **Ciência Rural**, v. 3, n. 5, p. 816 – 822, 2013.

SCHURT, D. A.; REIS, D. R.; ARAUJO, L.; CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F. A. Análise microscópica da resistência do arroz à queima das bainhas mediada pelo silício. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 93-101, 2015.

SHARMA, V.; SHARMA, K. M. Influence of accompanying anions and potassium retention and leaching in potato growing alluvial soils. **Pedosphere**, v. 24, n. 4, p. 464-171, 2013.

SILVA, F.C.; RAIJ, B. V. Disponibilidade de fósforo em solos avaliada por diferentes extratores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 267-288, 1999.

SILVA, F. C. da. ed. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2ª edição – Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, A. A. S.; MEDEIROS, M. E; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S. Verdete de cedro do abaeté como fonte de potássio: caracterização, tratamento térmico e reação com CaO. **Revista Matéria**, v. 17, n. 3, p. 1061-1073, 2012.

SOUSA, D. M. G.; VILELA, L.; LOBATO, E.; SOARES, W. V. Uso do gesso, calcário e adubos para pastagens no cerrado. **Embrapa cerrados**, Planaltina, 2001, 22 p. (Circular técnica nº 12).

STAMFORD, N. P.; FIGUEIREDO, M. V. B.; JUNIOR, S. S.; FREITAS, A. D. S.; SANTOS, C. R. S.; JUNIOR, M. A. L. Effect of gypsum and sulfur with *Acidithiobacillus*



on soil salinity alleviation and on cowpea biomass and nutrient status as affected by PK rock biofertilizer. **Scientia Horticulturae**, v. 192, p. 287-292, 2015.

TEIXEIRA, A. M. S.; SAMPAIO, J. A.; GARRIDO, F. M. S.; MEDEIROS, M. E. Avaliação da rocha fonolito como fertilizante alternativo de potássio. **Holos**, v. 5, p. 21-33, 2012.

## CONCLUSÕES GERAIS

O cafeeiro não respondeu ao aporte de Si ao solo, tanto nos teores foliares do elemento, quanto na incidência de *C. coffeicola*.

O pó de fonolito e o termopotássio obtido por fusão são fontes alternativas de potássio com efetiva liberação de K às plantas e de Si e K ao solo. Ambas as fontes são menos reativas que o KCl, mas sua aplicação resulta em menores chances de lixiviação de K mesmo que o KCl seja aplicado parceladamente.

O uso contínuo do fonolito em doses elevadas deve ser visto com cautela, tendo em vista a elevada disponibilização de sódio desta fonte no solo. Entretanto, a aplicação conjunta com gesso, mostrou-se eficiente em minimizar o acúmulo deste elemento.

Fonolito e termopotássio são opções interessantes para a fertilização de pastagens, tanto pela menor necessidade de parcelamentos na adubação quanto para atender a demanda por fertilizantes potássicos de produtores orgânicos.