

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

HUGO CÉSAR SALAMANCA CABRERA

**AVALIAÇÃO DA BIOTITA COMO FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO PARA
A CULTURA DO MILHETO**

**Uberlândia – MG
Junho – 2011**

HUGO CÉSAR SALAMANCA CABRERA

**AVALIAÇÃO DA BIOTITA COMO FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO PARA
A CULTURA DO MILHETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer

**Uberlândia – MG
Junho – 2011**

HUGO CÉSAR SALAMANCA CABRERA

**AVALIAÇÃO DA BIOTITA COMO FONTE ALTERNATIVA DE POTÁSSIO PARA
A CULTURA DO MILHETO**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao curso de Agronomia, da Universidade
Federal de Uberlândia, para obtenção do
grau de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado pela Banca Examinadora em 06 de junho de 2011.

Eng. Agrônomo Gustavo Alves Santos
Membro da Banca

Eng. Agrônoma Ivanielle Nahas Duarte
Membro da Banca

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer
Orientador

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência agronômica da fonte biotita, em relação à fonte convencional cloreto de potássio (KCl), na disponibilidade de potássio para as plantas. O experimento foi conduzido em Neossolo Quartzarênico Órtico típico cultivado com a cultura do milho sob condições de casa de vegetação, em delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos consistiram de um esquema fatorial $5 \times 2 + 1$, sendo 5 doses (0, 30, 60, 120, 240 e 480 kg ha⁻¹ de K₂O), 2 fontes de potássio (KCl e a Biotita) e mais um tratamento adicional (testemunha). Os resultados mostraram que houve maior incremento do teor acumulado de K na parte aérea quando utilizou-se a fonte padrão. Com relação ao potássio no solo, percebeu-se efeito residual da biotita em relação ao KCl nas doses de 240 a 480 kg ha⁻¹ e o índice de eficiência agronômica da biotita em relação a fonte padrão foi de 54 %.

Palavras- Chave: efeito residual da biotita, eficiência agronômica da biotita, fonte alternativa de potássio.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 Importância do potássio para as plantas	7
2.2 Potássio no solo	8
2.2.1 Micas	10
2.2.2 Feldspatos e feldspatóides.....	11
2.2.3 Intemperismo dos minerais potássicos.....	12
2.3 Potássio na planta.....	13
2.4 Reservas de Potássio no Brasil	14
2.5 Fontes tradicionais de Potássio utilizados na agricultura.....	15
2.6 Fontes alternativas de Potássio	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Matéria seca.....	20
4.2 Teor de potássio na parte aérea do milheto.....	22
4.3 Quantidade de potássio acumulado pela parte aérea do milheto.....	23
4.4 Quantidade de potássio no solo.....	25
4.5 Cálculo do Equivalente em cloreto de potássio.....	26
5 CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIAS	29

1 INTRODUÇÃO

O potássio (K) é um dos três nutrientes mais importantes, essenciais para o desenvolvimento das plantas. Cerca de 95% da produção mundial de potássio é usada como fertilizante e os outros 5% tem várias aplicações industriais, incluindo a manufatura de vidros especiais, sabões e detergentes. Os dois sais de potássio mais importantes em uso corrente são o cloreto de potássio (KCl) (contendo 60 a 62% de K_2O) e o sulfato de potássio (K_2SO_4) (50 a 52% de K_2O). A produção mundial de potássio na forma de cloreto de potássio (KCl) é de 90% do total, enquanto que o sulfato de potássio representa menos que 5% do total.

O K é usado como fertilizantes desde o século III a.C., na forma de cinzas ou resíduos vegetais. Na América do Norte, os índios assim procediam com cinzas de árvores, quando chegaram os primeiros colonizadores europeus.

Em 1851, o mineral carnalita, contendo cloretos de potássio e magnésio, começou a ser explotado em minas de Stassfurt, Alemanha, embora, naquela época, sem aplicação na área de fertilização de solos agrícolas. Dez anos depois, Adolph Frank desenvolveu um processo para a produção de sal de potássio, a partir da carnalita, com pleno uso do produto, como fertilizante. Outras inovações tecnológicas de impacto similar e a descoberta de novas minas conferiram à Alemanha a hegemonia do mercado de fertilizantes potássicos, o que perdurou até o início da década de 30 do século XX (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

Durante a Primeira Guerra Mundial, os Estados Unidos iniciaram a produção industrial de sal de potássio pressionados pela interrupção das exportações alemãs. Este fato estimulou não só a produção de KCl, mas também a prospecção e pesquisa de novas fontes, o que levou à descoberta de extensos depósitos próximos de Carlsbad, Novo México, em 1921. Hoje, cerca de 80% da produção americana provém do Novo México (CANADIAN POTASH PRODUCERS, 2001), porém insuficiente para o consumo interno.

O mais importante depósito de sais de potássio na América do Norte foi descoberto durante a Segunda Guerra Mundial, em Saskatchewan, Canadá. Depois de solucionar os problemas decorrentes da localização da jazida a grandes profundidades e da existência de lençóis freáticos na zona do jazimento, várias minas entraram em operação em 1960.

As reservas mundiais de potássio estão estimadas em, aproximadamente, 16 bilhões de toneladas. O Canadá responde por cerca de 63 % das reservas mundiais conhecidas, Rússia por 13%, Bielorrússia, por 6%, Alemanha, 5% e Israel, 3%.

No Brasil as reservas de sais de potássio oficialmente aprovadas são da ordem de 14,5 bilhões de toneladas (silvinita e carnalita), das quais 64,9 % medidas, 24,6 % indicadas e 10,5 % inferidas. Estas reservas estão localizadas nos Estados de Sergipe e Amazonas (Bacia Sedimentar Sergipe / Alagoas e Bacia Sedimentar do Amazonas).

Segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, mais de 75% dos fertilizantes consumidos no país vêm de fora. No caso do potássio, 91% são importados, pois a produção interna satisfaz pouco mais do que 10% da demanda, sendo necessária a importação de grandes volumes a um custo superior a US\$ 600 milhões/ano (US\$ 625 milhões em 2003). Há previsões de que a demanda brasileira de K_2O cresça 50% até 2015, ou seja, um consumo da ordem de 7,0 Mt. Com isso o aumento recente dos preços internacionais dos fertilizantes tende a agravar o déficit comercial (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). Essa dependência de importações, sempre crescente ao longo dos anos, mostra a importância de se desenvolverem estudos intensivos e profundos nas ocorrências/depósitos já conhecidos e de se realizarem pesquisas sobre novas fontes para produção de fertilizantes de potássio.

Dentre as fontes novas que estão sendo estudadas se encontra a biotita, um mineral da classe dos silicatados, que contém em sua composição o potássio e outros nutrientes importantes para o desenvolvimento das plantas e, que poderá num futuro substituir parcialmente ou totalmente a fonte cloreto de potássio, diminuindo assim esse déficit comercial.

Dentre as culturas utilizadas para o estudo das adubações com fontes de potássio destaca-se o milheto (*Pennisetum americanum*), visto que é considerada como uma “bomba acumuladora de potássio”, sendo resistente as pragas e doenças e adaptando-se bem ao cerrado brasileiro. É uma cultura que se expande cada vez mais devido ao advento do plantio direto na região do cerrado, se caracteriza por ser uma planta C4, gramínea anual e cuja origem é compartilhada por alguns autores entre África e Índia (BONAMIGO, 1999).

Portanto, o objetivo desse trabalho é avaliar a eficiência agrônômica da fonte biotita, em relação à fonte convencional cloreto de potássio (KCl) na disponibilidade de potássio para as plantas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância do potássio para as plantas

O requerimento de potássio (K) para o ótimo crescimento das plantas está aproximadamente entre 2 a 5% na matéria seca, variando em função da espécie e do órgão analisado. O K é o segundo nutriente mais exigido pelas plantas, perdendo apenas para o nitrogênio (N). As plantas produtoras de amido, açúcar e fibras parecem ser particularmente exigentes em potássio (NOVAIS et al., 2007).

De acordo com Calmak (2005), o K é o cátion mais abundante no tecido das plantas e possui muitas funções fisiológicas, entre elas a alongação celular, a regulação estomática e a influência na taxa fotossintética. O mesmo autor cita que há evidências de que a produção de espécies reativas de oxigênio nos cloroplastos é intensificada sob baixo suprimento de potássio e responsável pelo desenvolvimento de clorose e necrose das folhas em plantas deficientes neste nutriente. O K interfere também na atividade da NADPH oxidase geradora de O₂, um sistema enzimático ativado por estresse causado por seca, baixas temperaturas e salinidade.

Segundo Yamada (1994) e Raij (1990), as principais funções do potássio na planta são:

- Influência no transporte de elétrons durante a fotossíntese, com reflexo direto numa melhor capacidade energética da planta e conseqüentemente, maior assimilação de carbono;
- Maior síntese de carboidratos, proteínas e lipídeos;
- Maior translocação de produtos fotossintetizados nas folhas;
- Uso mais eficiente da água devido ao melhor funcionamento dos mecanismos de abertura e fechamento dos estômatos;
- Maior resistência a pragas e doenças;
- Melhor qualidade do produto colhido por atuar de várias maneiras: melhor utilização do N e aumento de formação de proteína; tamanho de grãos, sementes e tubérculos; forma de sementes e tubérculos; conteúdo de suco de frutos e de cana-de-açúcar; conteúdo de óleo de grãos e de sementes; conteúdo de vitamina C de frutas; coloração de frutas, gramados; uniformidade e aceleração de maturação de frutas, hortaliças e outras culturas; resistência a

esmagamento e avarias físicas em transporte e armazenagem; resistência, comprimento, finura e coloração de fibras de algodão.

O potássio tem alta redistribuição nos tecidos, portanto, os sintomas de carência surgem nas folhas mais velhas (MALAVOLTA et al., 1997). No estágio inicial da deficiência, aparecem manchas cloróticas, nos espaços entre as nervuras. Com a evolução dos sintomas, as manchas se unem formando faixas cloróticas ou avermelhadas nas margens das folhas velhas, com posterior necrose dos tecidos (WILL, 1961; KAUL et al., 1970; ROCHA FILHO et al., 1978; DELL et al., 1995; SILVEIRA et al., 1996; SILVEIRA et al., 1999). No estágio mais avançado, a presença de clorose e necrose ocorrem até nas folhas mais jovens, enquanto que as folhas velhas enrolam e secam.

2.2 Potássio no solo

Os solos variam na sua capacidade de suprir potássio para as plantas em função das formas em que este nutriente se encontra, da quantidade e do grau de disponibilidade de cada forma, bem como das características físicas (textura, retenção de água entre outras) que afetam a sua condução através da solução do solo até o contato com a raiz (MIELNICZUK, 1980).

Pode-se considerar que o potássio no solo encontra-se nas seguintes formas: *potássio não-trocável*, o qual é extraído com HNO_3 1 mol L^{-1} a quente, que corresponde àquele retido na estrutura de minerais (K estrutural), tais como os feldspatos potássicos e as micas, bem como ao K fixado nas entre as camadas dos argilo-minerais expansivos como a vermiculita e a esmectita. O potássio estrutural é o que faz parte dos minerais primários e secundários. O potássio fixado, o qual se encontra neutralizando as cargas negativas no interior das entrecamadas de minerais do tipo 2:1. O potássio precipitado é aquele combinado com outros componentes químicos, sendo uma forma pouco expressiva.

No solo, o potássio também se encontra na forma de *potássio trocável*, o qual é extraído com NH_4OAc , $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$ (Mehlich 1) ou resina, que se refere ao elemento fracamente retido na capacidade de troca de cátions (CTC) do solo sendo a fração do potássio (K) que se encontra ligada as cargas negativas nas superfícies orgânicas e inorgânicas do solo. O potássio na matéria orgânica (MO) é pequeno, pois restringe ao K na fração orgânica viva e

por fim o potássio presente na solução do solo, o qual é extraído com água; O K está dissolvido na água do solo e disponível para as plantas (NOVAIS et al., 2007).

A somatória dessas formas é representada pelo K total do solo que é extraído com ácido fluorídrico (HF). Estas formas estão em equilíbrio entre si através da solução do solo, afetando assim a disponibilidade de K para as plantas. Ocorrendo absorção de potássio na solução do solo pelas plantas ou sua remoção pelas águas de percolação, o equilíbrio é restabelecido pelo K-trocável. Quando a concentração na solução atinge valores baixos, o equilíbrio é mantido pela liberação do K-estrutural (NOVAIS et al., 2007).

Em solos cultivados, é encontrado em quantidades de 7 a 15.000 kg ha⁻¹, mas desse total, só 1 a 2 % (70 a 300 kg), encontra-se em forma trocável ou solúvel, isto é, em forma assimilável pelas plantas (KORNDORFER, 2006).

O potássio (K) tem boa mobilidade no perfil do solo e isso é importante em situações em que o K é aplicado sobre a superfície do solo, pois a absorção de qualquer nutriente é dependente da concentração do mesmo junto às raízes, e em culturas de ciclo anual, elas estão predominantemente nos 20 cm, superficiais. A quantidade de K que percola para baixo da camada do solo ocupada pelas raízes depende da fonte de potássio utilizada, do volume de água percolada e da concentração do K na solução do solo. A aplicação de sais de potássio (KCl) de alta solubilidade favorecem a lixiviação, especialmente em solos arenosos e de baixa CTC (Capacidade de troca de cátions). Segundo Sanzonowicz e Mielniczuk (1985), as perdas de K por percolação ou lixiviação podem ser reduzidas com emprego de fontes menos solúveis e/ou portadoras de ânions pouco móveis no solo.

O Potássio do solo é oriundo do intemperismo de minerais primários e secundários que são constituídos deste elemento, entre os principais as micas, feldspatos e dos feldspatóides, como também pode se encontrar o mesmo em outros minerais menos comuns, como a jarosita (sulfeto de Fe) e algumas zeólitas. Geralmente em minerais secundários o potássio se localiza na illita, vermiculita e nos argilominerais interestratificados e em suma sabe-se que majoritariamente os minerais que contêm potássio são aluminossilicatos. Sendo que os principais grupos constituídos de potássio, são os filossilicatos e aos tectossilicatos, que podem conter entre 50 e 150 g kg⁻¹ de K (NOVAIS et al., 2007).

2.2.1 Micas

Os filossilicatos mais importantes constituídos de potássio pertencem ao grupo das micas que são minerais os quais participam da constituição de diversos tipos de rochas, metamórficas (xistos, migmatitos e gnaisses), magmáticas intrusivas (granitos e granitóides) e sedimentares (siltitos, argilitos e folhelhos) como também podem ocorrer em sedimentos oriundos de outras rochas (FANNING et al., 1989).

As micas são formadas pelo sucessivo empilhamento de camadas do tipo 2:1, nas quais a camada é composta por duas lâminas tetraedrais e entre a mesma se terá uma lâmina octaedral (Figura 1).

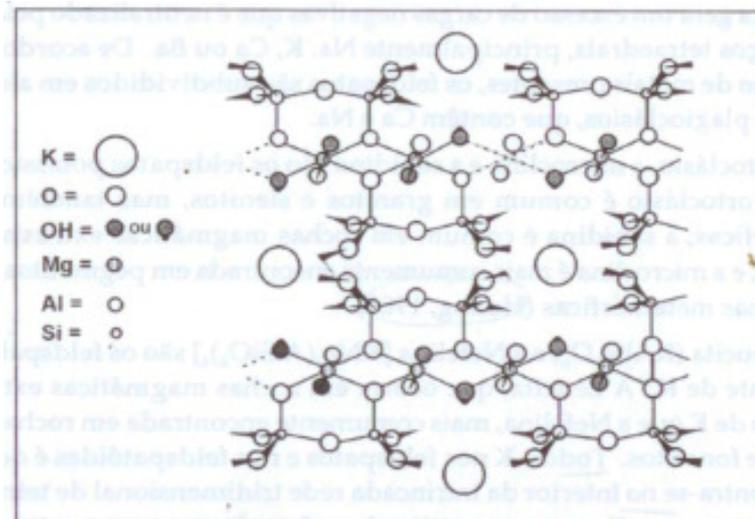


Figura 1. Estrutura da mica trioctaedral, do tipo biotita. (Fonte: Adaptado de Fanning et al. 1989)

A muscovita, a biotita e a flogopita são as micas mais comuns de serem encontradas e geralmente na fração grosseira do solo (Figura 2).

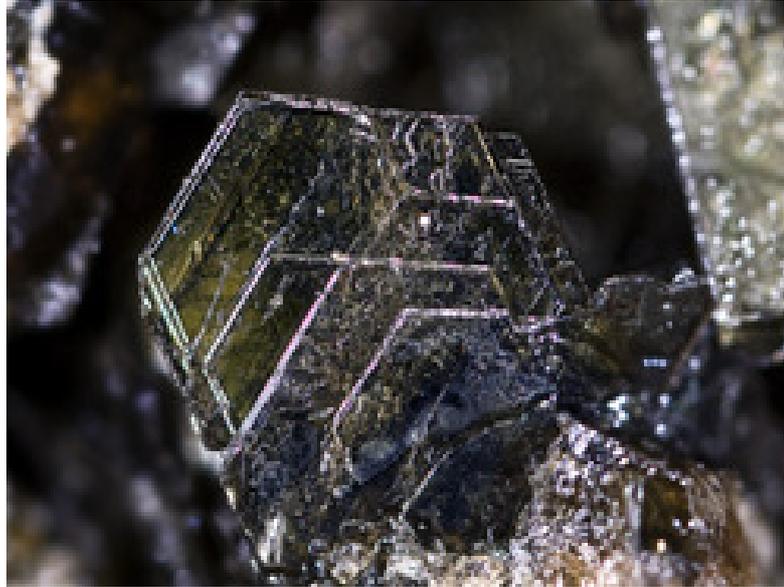


Figura 2. Ilustração da Biotita (Fonte: <http://pt.encydia.com/gl/Biotita>)

2.2.2 Feldspatos e Feldspatóides

Os feldspatos são minerais pertencentes ao grupo dos tectossilicatos, nos quais o Al^{+3} pode substituir parcialmente o Si^{+4} na rede cristalina do arranjo tetraedral, sendo que essa substituição origina um excedente negativo, o qual é neutralizado pela entrada de cátions nos espaços tetraedrais, os mais comuns são Na^{+1} , K^{+2} , Ca^{+2} ou BA^{+2} (NOVAIS et al., 2007).

O ortoclásio, a microclina e a sanidina são os feldspatos potássicos mais comuns no solo, sendo o primeiro comumente encontrado em granitos e sienitos como também em rochas metamórficas, já a sanidina é comum de se localizar em rochas magmáticas extrusivas (riolitos e traquitos) e por fim a microclina geralmente é encontrada em pegmatitos, veios hidrotermais e em rochas metamórficas (HUANG, 1989).

Todo o potássio oriundo dos feldspatos e nos feldspatóides é do tipo estrutural, ou seja, encontram-se no interior da rede tridimensional de tetraedros de Si, logo para haver a disponibilização pronta desse potássio para as plantas. Esses minerais precisam ser dissolvidos através de reações naturais do intemperismo químico que ocorrem durante a formação e desenvolvimento do solo.

2.2.3 Intemperismo dos minerais potássicos

O intemperismo químico dos minerais primários é a principal ferramenta para disponibilizar o mineral potássio das principais fontes, sendo que a quebra pela ação da água ou hidrólise é primordial nesse processo, no qual os íons H^+ atacam as ligações estruturais dos minerais com o K, reação esta que pode ser elucidada detalhadamente pela equação 1, neste caso o feldspato ortoclásio (NOVAIS et al., 2007):



A reação completa de decomposição do feldspato geralmente origina um mineral de argila ou um óxido de Al, com formação de uma base e do excesso de Si, como pode ser vista na equação 2, que mostra a formação da caulinita a partir de um feldspato:



O mineral a ser originado deste processo de intemperismo do feldspato depende da intensidade do fluxo lixiviante, pois quando o fluxo for de pequena intensidade pequena proporção de sílica e outras bases do perfil serão removidas, neste caso configurando a elaboração de argilominerais do tipo 1:1, como a caulinita, ou mesmo do tipo 2:1, como a esmectita. Já em regiões tropicais, como as condições são mais favoráveis com altas temperaturas e tendo grande disponibilidade de água, o fluxo lixiviante será mais intenso, salvo se houver boa drenagem, assim neste caso ocorrerá a remoção completa da sílica e das bases do perfil, conseqüentemente, o processo sofrido pelo feldspato originará a formação de óxidos de Al, do tipo gibsitita, ao invés de caulinita (MELFI; PEDRO, 1977).

Outro mecanismo importante de liberação do potássio dos minerais primários é o da transformação estrutural das micas, pela hidratação ou ação da água de uma forma gradativa e observa-se que nesse processo há uma perda gradual do potássio estrutural, assim havendo a alteração das micas em minerais secundários, como ilita e a vermiculita (equação 3).



Este processo é simples de ser explicado, as micas ao sofrerem hidratação, perdem o potássio contido na sua estrutura paulatinamente e assim transformando-se em ilita e caso haja

grande disponibilidade de Mg, o mesmo substituirá totalmente o potássio estrutural da mica, a qual se transforma em vermiculita.

O intemperismo das micas também pode suceder devido a reações de hidrólise, assim relacionado à dissolução completa do material, este processo contribui para a liberação do potássio para as plantas como também para a formação de novos minerais secundários.

A estabilidade de alguns minerais ao intemperismo é proposta por Goldich, sendo que as micas e os feldspatos potássicos se enquadram como altamente resistentes ao intemperismo químico, apenas perdendo em termos de resistência para o quartzo. Entre as micas, as de coloração mais escura, como a biotita e a flogoptita, são mais facilmente intemperizáveis do que as brancas, como a muscovita. De uma forma clássica têm-se atribuído essa diferença a maior proporção de Fe presente na estrutura da biotita, que devido a este seria mais facilmente oxidado e tornaria essas micas mais instáveis (NOVAIS et al., 2007).

Entretanto, Fanning et al. (1989), atribui a maior estabilidade da muscovita à orientação do H da hidroxila no octaedro, o qual está direcionado ao espaço octaedral vago da lâmina dioctaedral. Já nas micas escuras, o H aponta diretamente para o K da entrecamada, aumentando a repulsão entre os íons, deixando, por isso, o mineral mais instável. Dentre os feldspatos potássicos, ortoclásio é mais facilmente intemperizável do que a microclina (HUANG, 1989).

2.3 Potássio na planta

Segundo Novais et al. (2007) as propriedades da planta que influenciam a disponibilidade de potássio (K) são: a morfologia do sistema radicular, a taxa de demanda de cada espécie, parâmetros cinéticos de absorção (velocidade máxima, $I_{máx}$, constante de Michaelis-Menten, K_m , e concentração na solução onde o influxo deixa de existir, C_{min}).

O clima também influencia na disponibilidade de K, relacionado a fatores como temperatura e umidade, sendo que o aumento da temperatura ambiente e do solo aumenta a absorção de K pelas plantas, pois favorece tanto a difusão de K no solo quanto o processo de absorção. Quando a umidade no solo aumenta também favorece a absorção de potássio, porque aumenta o transporte de K até as raízes pelos diferentes mecanismos. O K é suprido às raízes pelos mecanismos de fluxo de massa e difusão. A interceptação radicular, outro

mecanismo contribui com menos de 5 % da demanda de potássio pelas plantas, considerando o pequeno volume de solo explorado pelo sistema radicular de maioria das espécies.

No mecanismo fluxo de massa, os íons se movimentem em direção às raízes em consequência da formação de um gradiente de potencial hídrico, em virtude desse gradiente, a solução do solo desloca-se em direção às raízes e levam consigo os nutrientes nela presentes. A quantidade de K transportada por esse mecanismo depende, portanto, da concentração de K na solução do solo e do fluxo hídrico, o qual varia de acordo com o volume de água transpirada pelas plantas.

O processo de difusão consiste no transporte de K em direção as raízes quando a quantidade do nutriente que chega ao sistema radicular pelo fluxo radicular, juntamente com àquela que é interceptada pelo crescimento radicular, é inferior a quantidade absorvida pelas plantas. Com isso, passa a existir um gradiente de concentração de K entre a rizosfera e as áreas adjacentes a ela, que determina o transporte de K em direção às raízes, por difusão.

De acordo com Novais et al. (2007) com o aumento do sistema radicular aumenta a absorção de potássio (K), o que é resulta do maior volume de solo explorado pelas plantas e também diminui o caminho a ser percorrido pelo nutriente em direção as raízes, tanto por difusão quanto por fluxo de massa. A partir do momento em que o K entra em contato com as raízes, a absorção passa a ser determinada pelos parâmetros cinéticos de absorção.

De acordo com Alvarez et al. (1999), os níveis críticos de potássio para a cultura do milho estão para baixo menos que 41 mg dm^{-3} , médio entre 41 e 70 mg dm^{-3} e nível alto acima de 70 mg dm^{-3} .

2.4 Reservas de potássio no Brasil

No Brasil a existência de sais potássicos no subsolo tornou-se conhecida em 1941 quando foi iniciada a pesquisa de petróleo pela Petrobrás S.A., na bacia sedimentar de Sergipe e Alagoas, tendo sido localizado o depósito de Carmópolis-SE. Outros depósitos ainda maiores foram encontrados depois no médio rio Amazonas (CARVALHO, 1977).

Além da mina de Taquari-Vassouras, em produção, são conhecidos, na região de Santa Rosa de Lima, depósitos de potássio, arrendados pela Companhia Vale do Rio Doce (NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004).

2.5 Fontes tradicionais de Potássio utilizados na Agricultura

As principais fontes utilizadas na Agricultura são cloreto de Potássio (KCl), o sulfato de potássio (K_2SO_4), sulfato duplo de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot MgSO_4$) e o nitrato de potássio (KNO_3).

O cloreto de potássio se encontra como o mais utilizado na agricultura, pois contém em sua composição 58 a 62 % de K_2O solúvel em água, o que torna o mesmo altamente competitivo em relação as outras fontes. No entanto, devido ao alto teor de cloro liberado, não pode ser usado em algumas culturas sensíveis como o abacaxi e o fumo, pois prejudica o valor comercial das mesmas. Outra restrição importante a este fertilizante potássico se deve ao fato do mesmo não poder ser utilizado na agricultura orgânica em razão de sua alta solubilidade e presença de cloro (COSTA; CAMPANHOLA, 1997; MALAVOLTA et al., 2002).

Outra fonte de fertilizante potássica utilizada na agricultura é o Sulfato de potássio, o qual tem como vantagem o fato de fornecer enxofre além do potássio e, com algumas limitações pode ser empregado na agricultura orgânica. É composto de 50 a 52 % de K_2O e cerca de 18 % de enxofre, os quais são solúveis em água (COSTA; CAMPANHOLA, 1997; MALAVOLTA et al., 2002), contudo é pouco utilizado como adubo devido ao seu elevado preço de mercado.

Por fim o sulfato duplo de potássio e magnésio é composto de 22% de K_2O , 11% de Mg, cerca de 22 a 23 % S, solúveis em água (MALAVOLTA et al., 2002). Normalmente, esse fertilizante é oriundo da langbeinita ($K_2Mg_2(SO_4)_3$), o qual é um importante mineral de potássio em depósitos comerciais (ROBERTS, 2005). Já nitrato de potássio apresenta 44 % de K_2O e 13 % de N.

2.6 Fontes alternativas de Potássio

No Brasil existem reservas de minerais primários com teores relativamente altos de potássio (K) (TÁVORA, 1982; NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004). Entretanto, existe um problema crucial, pois a maioria dos minerais constituídos de K tem o mesmo na forma estrutural insolúvel, não havendo assim facilidade em sua liberação, como ocorre com os silicatos. Esses minerais formados por grupos tetraédricos de SiO_4 ligado por cátions. Segundo Novais et al. (2007), os silicatos considerados ricos em potássio, como os feldspatos

potássicos, muscovita e a leucita não se constituem fontes apropriadas deste nutriente, visto que não são solúveis e suas estruturas se rompem com dificuldades e apenas com meios artificiais, por exemplo, processo térmico microondas.

Vários testes, em casa de vegetação e no campo, com o objetivo de avaliar o potencial agrônômico de diversas rochas e minerais no fornecimento de K foram realizados. Dentre as rochas testadas encontra-se a carnalita, biotita, leucita, sienito nefelin, mica xisto, feldspato potássico, clorita xisto, muscovita e Verdete foram alguns dos minerais e rochas avaliadas (LOPES et al., 1972; DUTRA, 1980; FAQUIN, 1982; EICHLLER; LOPES, 1983).

Devido à dependência de minerais potássicos, observa-se a necessidade da retomada de pesquisas no sentido de desenvolver novos produtos ou até da busca de minerais que possam ser aplicados de forma direta ao solo e além do aumento da exploração de jazidas tradicionais (KINPARA, 2003; NASCIMENTO; LOUREIRO, 2004; LOPES, 2005).

Algumas instituições públicas juntamente com a participação de unidades privadas estão buscando viabilizar a organização deste estudo de uma forma concreta, em 2003 foi criada uma rede nacional de pesquisas, denominada a Rede Agri- Rocha, cujo propósito principal é desenvolver estudos que viabilizem a substituição de partes das fontes convencionais de K pela utilização de rochas brasileiras (RESENDE et al., 2005).

Segundo Resende et al. (2005) alguns objetivos buscados pela rede seriam: identificar, catalogar e caracterizar geoquimicamente novas ocorrências destas rochas, desenvolver tecnologia de moagem com a finalidade de alcançar eficiência energética no processo (granulometria adequada), determinar o potencial de liberação do K das rochas e seu efeito residual, selecionar microorganismos para biossolubilização das rochas e avaliar o impacto da aplicação dessas rochas na liberação dos demais elementos acompanhantes para o solo, sua absorção pelas plantas e seus efeitos benéficos ou fitotóxicos.

Além do potássio, as rochas estudadas podem fornecer outros nutrientes e apresentar efeito corretivo da acidez do solo (ANDRADE et al., 2002; MACHADO et al., 2006).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na casa-de-vegetação do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia. O solo utilizado foi um Neossolo Quartzarênico Órtico típico, cujos atributos químicos e físicos estão expostos na Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1. Caracterização química da amostra de terra do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo).

pH	P meh-1	Si	Al⁺³	Ca⁺²	Mg⁺²	K⁺¹	SB	t	T	V	m	M.O.
	---mg dm ⁻³ ---		----- mmol _c dm ⁻³ -----						-- % --		g kg ⁻¹	
5,0	5,3	2,2	6	3	1	1	5	11	43	11	57	17

Pmeh⁻¹ e K - Extrator Mehlich (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N); Ca, Mg e Al - Extrator KCl 1 mol L⁻¹; t - CTC efetiva; T - CTC potencial (a pH 7,0); V - saturação por bases; m - saturação por alumínio (Embrapa, 1999). Si - Extrator CaCl₂ (Korndorfer, 2004).

Tabela 2. Caracterização física do Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) .

Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
----- g. kg ⁻¹ -----			
650	230	0	120

Observações: Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

O delineamento experimental adotado foi o de blocos ao acaso (DBC) em um esquema fatorial de 5 X 2 + 1, sendo 5 doses (0, 30, 60, 120, 240 e 480 kg ha⁻¹ de K₂O) 2 fontes de potássio (KCl e a Biotita), mais um tratamento adicional (testemunha) com 4 repetições, totalizando 44 parcelas.

A biotita que é uma rocha multielementar, ou seja, a rocha apresenta muitos elementos em sua estrutura tem sua composição química esta descrita na Tabela 3.

Tabela 3. Caracterização química da biotita.

Si	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	P	Mn	Zn	Co
-----dag kg ⁻¹ -----										
49,87	10,25	10,39	17,48	3,76	0,61	4,95	0,04	0,15	373	100

Fonte: Embrapa Cerrados

Cada parcela experimental consistiu de 5 kg de terra fina seca ao ar (TFSA) que foi colocadas em vasos plásticos. A TFSA foi umedecida com água destilada até próximo a 70 % do volume total de poros para que pudesse ocorrer a reação dos produtos. Ao solo foram adicionados 700 kg ha⁻¹ de MAP (77 kg ha⁻¹ de N + 378 kg ha⁻¹ de P₂O₅), 400 kg ha⁻¹ de Uréia (180 kg ha⁻¹ de N), 100 kg ha⁻¹ de FTE BR12, 400 kg ha⁻¹ de Gesso Agrícola e 2.000 kg ha⁻¹ de Silicato de Ca e Mg, visando atender as necessidades nutricionais do milho (*Pennisetum americanum*).

O experimento foi instalado no dia 10 de agosto de 2010, onde foram semeadas 30 sementes de milho por vaso e 14 após a semeadura foi realizado um desbaste deixando 6 plantas por parcela. O milho foi colhido 60 dias após a semeadura e a parte aérea das plantas foram secas em estufa, à 65° C, até peso constante para obtenção da massa seca. As folhas depois de secas foram moídas para análise dos teores de K⁺ na parte aérea determinado segundo metodologia descrita pela Embrapa (1999). Além disso foi calculado o K acumulado na parte aérea do milho através da produção de massa seca (g vaso⁻¹) e concentração foliar de K⁺ (g kg⁻¹) e o equivalente em KCl (Equação 4). Após o corte da matéria fresca, também foram coletadas amostras de solo dos vasos com auxílio de um mini trado e foi quantificado o teor de K⁺ (potássio trocável) segundo metodologia descrita pela EMBRAPA (1999).

Equação 4: Cálculo do Equivalente em Cloreto de Potássio

$$\text{Eq.KCl (\%)} = \frac{\sum [(Xf30 - Xt) + (Xf60 - Xt) + \dots + (Xfn - Xt)]}{\sum [(XK30 - Xt) + (XK60 - Xt) + \dots + (XK480 - Xt)]} \times 100$$

Onde:

Xf30 = Teor de K na parte aérea da fonte testada (Biotita) – dose de 30 kg ha⁻¹ de K₂O
Xf60 = Teor de K na parte aérea da fonte testada (Biotita) – dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O
Xfn = Teor de K na parte aérea da fonte testada (Biotita) – ultima dose de K₂O utilizada
XK30 = Teor de K na parte aérea da fonte padrão (KCl) – dose de 30 kg ha⁻¹ de K₂O
XK60 = Teor de K na parte aérea da fonte padrão (KCl) – dose de 60 kg ha⁻¹ de K₂O
XKn = Teor de K na parte aérea da fonte padrão (KCl) – ultima dose de K₂O utilizada
Xt = Teor de K na parte aérea da testemunha

Os resultados obtidos, tanto de solo quanto da parte aérea do milheto, foram submetidos a análises de variância, com a aplicação do programa estatístico ASSISTAT (SILVA; AZEVEDO, 2009). Quando o Teste F foi significativo, para os tratamentos qualitativos as médias foram comparadas pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Os tratamentos quantitativos foram submetidos à análise de regressão, empregando-se o mesmo programa estatístico.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Matéria Seca

A produção de matéria seca da parte aérea do milho (MS) foi influenciada pelas fontes de potássio aplicadas no solo sendo que independente da dose utilizada o potássio (K) proveniente do cloreto de potássio (KCl) aumentou mais a matéria seca da parte aérea do milho que do K fornecido com a aplicação da biotita. Além disso não houve diferença da matéria seca da parte aérea do milho (MS) da testemunha com a MS dos tratamentos onde aplicou a biotita nas doses de 30, 60 e 120 kg ha⁻¹ de K₂O (Tabela 4). Resultado semelhante foi obtido por Andrade et al. (2002), os quais avaliaram o potencial da rocha fresca carbonatito como fonte de fósforo (P) e potássio (K) para uma pastagem de *Brachiaria ruziziensis* e verificaram que não houve efeito significativo do carbonatito como fonte de P na produção da matéria seca de *Brachiaria ruziziensis* em comparação a testemunha.

Tabela 4 . Produção de matéria seca do milho após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

Doses K ₂ O kg ha ⁻¹	Fonte	
	KCl	Biotita
0	----- g vaso ⁻¹ ----- 7,50	
30	9,80 ^{ns}	8,50 ^{ns}
60	10,70 [*]	8,60 ^{ns}
120	12,10 [*]	9,60 ^{ns}
240	13,80 [*]	11,30 [*]
480	15,68 [*]	11,90 [*]
Média	12,40 a	9,96 b

CV: 10,96 %; DMSDunnet=2,5 DMS média: 0,77

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; ^{*}significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância;

Em um trabalho realizado por Castro et al. (2006), avaliou-se a viabilidade de uso de rochas brasileiras como fontes de K para a cultura do girassol, entre elas arenito vulcânico, brecha alcalina, carbonatito, biotita xisto e ultramáfica alcalina, além da fonte padrão cloreto de potássio, observou-se que a produção de matéria seca da parte aérea do girassol com a aplicação da rocha ultramáfica alcalina não diferiu do cloreto de potássio, a biotita xisto proporcionou uma produção de matéria seca intermediária, enquanto a brecha alcalina, arenito vulcânico e carbonatito apresentaram os menores valores.

Houve incremento na matéria seca da parte aérea do milho apresentando um ajuste quadrático ($y = -0,000033x^2 + 0,028x + 7,9298$) em função das doses de K_2O ($Kg\ ha^{-1}$) independente da fonte de potássio utilizada. O teor máximo de matéria seca ($13,86\ g\ vaso^{-1}$) foi obtido com a dose de $424\ Kg\ ha^{-1}$ de K_2O (Figura 3).

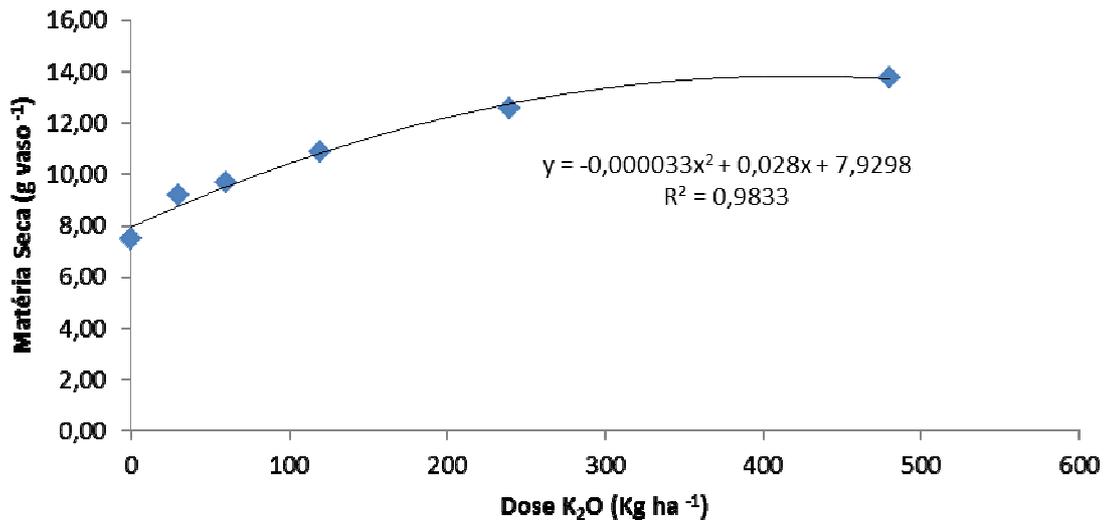


Figura 3. Produção de matéria seca do milho após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

De acordo com Barbosa Filho et al. (2006), houve também incremento na proporção de matéria seca do arroz quando se utilizou outras rochas silicáticas potássicas. A que mais obtiveram sucesso na liberação do K para o solo em relação à fonte tradicional, foram as rochas ultramáfica alcalina e brecha alcalina no cultivo do arroz em terras altas.

Em um trabalho realizado por Resende et al. (2005), avaliando o uso potencial agrônomico de três rochas silicáticas potássicas para a cultura do milho, com relação ao incremento de matéria seca não houve muita variação em resposta às doses e fontes de potássio, possivelmente porque muitos consideram que a reserva original de K em solos do Cerrado, mesmo considerada baixa para fins agrônomicos, pode ser suficiente para atender a demanda nutricional das plantas no primeiro cultivo, mascarando assim as respostas do fornecimento do nutriente.

Segundo Sobral et al. (2006), no qual um dos parâmetros avaliados foi o incremento de matéria seca em virtude da liberação de K de diferentes rochas, flogopitito, ultramáfica e brecha para a cultura da soja e do milho, percebeu-se que não houve efeito das rochas na

matéria seca da soja em sua parte aérea, tendo sido observado efeito na matéria seca das raízes, o qual pode estar associado ao teor de cálcio nas rochas.

4.2 Teor de Potássio na parte aérea do Milheto

Comparando o cloreto de potássio e a biotita em relação ao teor de K na parte aérea do milheto verifica-se que houve diferença significativa com a aplicação de todas as doses, exceto na dose de 30 Kg ha⁻¹ K₂O (Tabela 5). Esses dados revelam que na menor dose de K₂O por hectare dos tratamentos que receberam biotita o teor de K na parte aérea do milheto foi semelhante aos que receberam o cloreto de potássio.

Tabela 5. Teor de K na parte aérea do milheto após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

Doses K ₂ O	Fonte	
kg ha ⁻¹	KCl	Biotita
	----- g kg ⁻¹ -----	
0		
30	10,40 ^{ns} a	9,30 ^{ns} a
60	14,60* a	11,60* b
120	20,50* a	12,30* b
240	30,30* a	18,80* b
480	42,60* a	28,60* b

CV: 10,97%; DMS Dunnet=3,94 DMS fonte : 2,8

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; *significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância;

De acordo com a Figura 4 observa-se diferença significativa para o teor de K na parte aérea do milheto em função das fontes de potássio utilizadas no plantio do milheto, ajustando um modelo linear. Apesar do aumento da disponibilidade de potássio com o incremento das doses das rochas, a liberação do nutriente proveniente da biotita em relação à fonte convencional foi muito inferior. A aplicação de cloreto de potássio resultou num incremento de 73,1 mg de K para cada Kg de K₂O aplicado no solo e quando utilizou-se a biotita esse incremento foi de 43,5mg Kg⁻¹ para cada Kg de K₂O aplicado no solo. Isso ocorre pois as rochas são pouco solúveis não havendo liberação total do K a curto prazo.

Segundo Resende et al. (2005) a possibilidade de utilização direta da maioria das rochas que contém na sua composição o K dentre elas o verdetite foi descartada devido à baixa

disponibilização deste nutriente às plantas sendo necessários tratamentos químicos ou térmicos para aumentar a solubilidade das rochas.

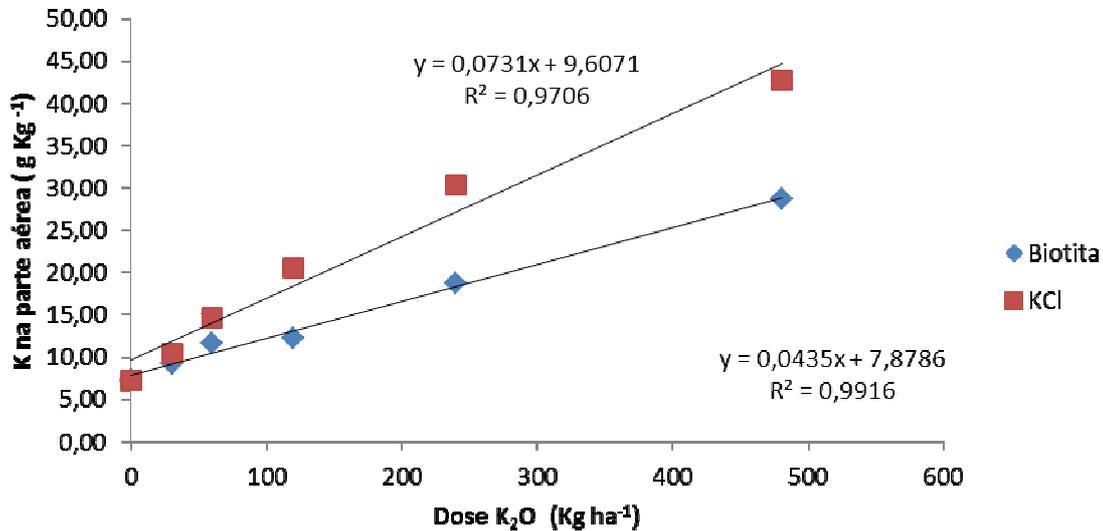


Figura 4. Teor de K na parte aérea do milho após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

4.3 Quantidade de potássio acumulado pela parte aérea do milho

A quantidade de potássio que se acumula na parte aérea do milho, depende da dose e de qual fonte utilizada. De acordo a Tabela 6 verifica-se que o K acumulado pela parte aérea do milho, semelhante ao teor de K na parte aérea do milho, que a partir da dose de 60 Kg ha⁻¹ houve diferença significativa com a aplicação das fontes de K sendo que o cloreto de potássio foi superior a biotita.

Tabela 6. Teor de K acumulado pela parte aérea do milho após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

Doses K ₂ O kg ha ⁻¹	Fonte	
	KCl	Biotita
0	----- g vaso ⁻¹ ----- 0,05 a	
30	0,10* a	0,08 ^{ns} a
60	0,16* a	0,10* b
120	0,25* a	0,12* b
240	0,41* a	0,21* b
480	0,67* a	0,34* b

CV: 9,71 %; DMS Dunnet=0,04 DMS fonte: 0,029

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; *significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância;

Segundo Barbosa Filho et al. (2006), em alguns experimentos utilizando solos do cerrado brasileiro observou-se que existia uma reserva original de K presente, isto mascarava o resultado de ensaios envolvendo adição de fontes de potássio. Nas doses que houve diferença estatística esse maior acúmulo de potássio na parte aérea da fonte padrão em relação à fonte alternativa pode ser explicada pela maior solubilidade do cloreto de potássio, sendo assim mais absorvido pela planta.

Na Figura 5 observa-se que a medida que aumenta as doses de K₂O aumenta o K acumulado pela parte aérea das plantas de milho, ocorrendo um incremento de 1,3 mg vaso⁻¹ e 0,6 mg vaso⁻¹ para cada 1 kg de K₂O aplicado utilizando o cloreto de potássio e a biotita, respectivamente.

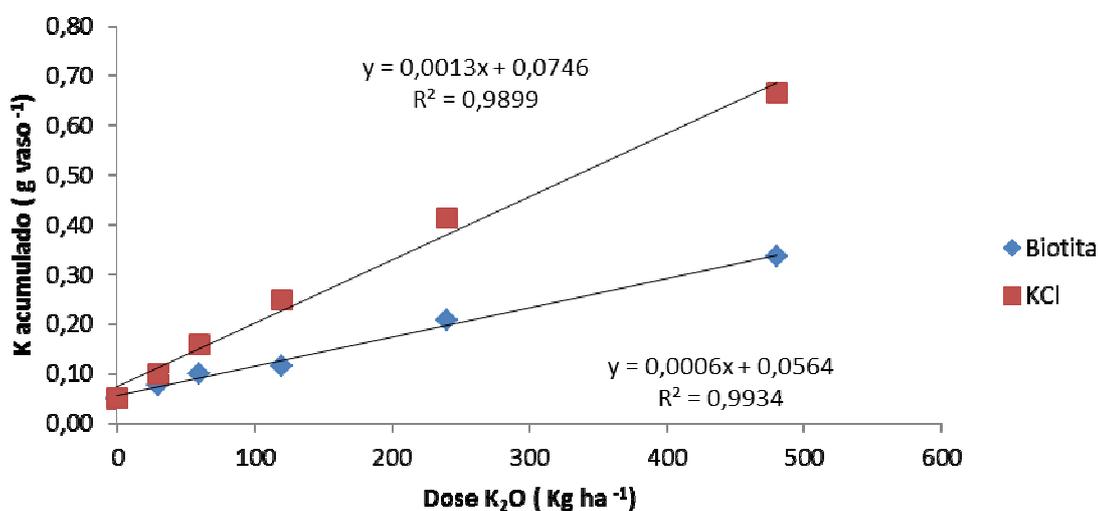


Figura 5. Teor de K acumulado pela parte aérea do milho após o primeiro cultivo, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

4.4 Quantidade de potássio no solo

Em relação aos teores de K no solo verificou-se que em todas as doses de K_2O o comportamento do cloreto de potássio foi semelhante a da Biotita, exceto nas maiores doses (240 e 480 $kg\ ha^{-1}$ de K_2O) nas quais a biotita deixou um teor de K no solo maior do que o cloreto de potássio (Tabela 7).

Tabela 7. Teores de K no solo (Mehlich 1) após o primeiro cultivo do milho, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

Doses K_2O $kg\ ha^{-1}$	Fonte	
	KCl	Biotita
	----- $mg\ dm^{-3}$ -----	
0	7,00 a	
30	8,80 ^{ns} a	10,80 ^{ns} a
60	9,50* a	12,00* a
120	12,50* a	13,80* a
240	15,50* b	26,50* a
480	28,50* b	44,80* a

CV: 12,27 % ; DMS Dunnet=4,3 DMS fonte: 3,01

Médias seguidas por letras distintas na coluna, diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; ^{ns} não significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância; *significativo pelo teste de Dunnet a 0,05 de significância;

De acordo com a Figura 8 percebe-se o mesmo comportamento linear da variável teor de K acumulado na parte aérea do milho e do teor de K na parte aérea do milho, sendo que a medida que aumenta a dose K_2O aumenta o teor de K no solo. Além disso após o cultivo do milho o teor de K no solo quando aplicou a biotita foi maior do que quando aplicou o cloreto de potássio (KCl). Este resultados demonstram o maior efeito residual da biotita em relação ao KCl. Isso ocorre pois a biotita possui menor solubilidade apresentando a liberação gradativa do potássio para o solo e portanto aumentando por mais tempo o potássio disponível no solo.

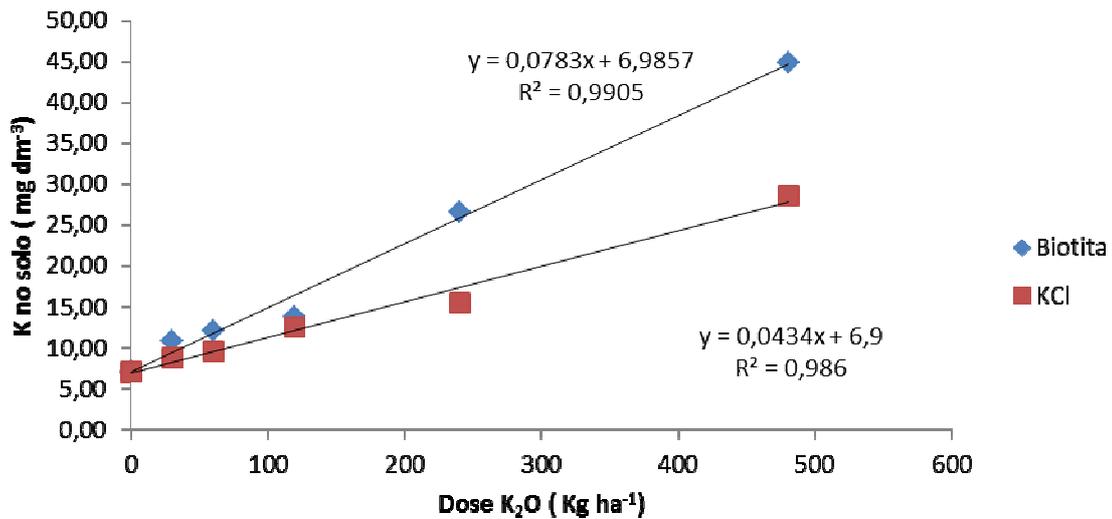


Figura 8. Teores de K no solo (Mehlich 1) após o primeiro cultivo do milho, em funções de doses e fontes de potássio aplicadas num solo contendo 12% argila.

Segundo Machado et al. (2006), em sua avaliação sobre a liberação de K por rochas silicáticas flogopitito, ultramáfica e brecha para cultura da soja e milho, observou-se que o efeito residual de K das rochas pode ser aparente quando mensurado pelo extrator Mehlich 1, isto está relacionado ao mecanismo de atuação do extrator pois o potássio absorvido pela soja e milho foi maior quando a fonte utilizada foi o cloreto de potássio embora o K no solo neste tratamento tivesse sido menor que nos tratamentos que receberam as rochas, então o poder acidificante deste extrator se tem uma superestimação do valor residual de potássio no solo.

4.5 Cálculo do Equivalente em Cloreto de Potássio

O cálculo do Equivalente em Cloreto de Potássio ou eficiência relativa das fontes, é calculado com base na proporção acumulada na parte aérea e tendo o cloreto de potássio (KCl) como fonte referência. De acordo a equação 4 verifica-se que a eficiência da biotita em relação do KCl foi de 54% , ou seja, quando se aplica 100 kg de biotita corresponde a aplicação de 54 kg de cloreto de potássio , logo para usar a biotita haveria um gasto de duas vezes aproximadamente da dose de KCl.

A biotita não poderia substituir totalmente a fonte padrão, se aplicada isoladamente, sendo que o nutriente é liberado gradativamente e haveria que se disponibilizar o dobro da dose em relação ao KCl.

Em trabalho realizado por Sobral et al. (2006), no qual se avaliou a liberação de K de três rochas, flogopitito, ultramáfica e brecha para a cultura da soja e milho, observou-se que o índice de eficiência agrônômica variou conforme as doses e foram maiores para a ultramáfica (66 %) e menores para o flogopitito (6,13 %).

Contudo, a averiguação de índices de eficiência, oriundos de dados de primeiro cultivo e da quantidade de nutrientes na matéria seca da planta, não irão necessariamente representar o valor agrônômico correto das fontes. Segundo Resende et al. (2005) é importante também realizar avaliações de médio a longo prazo, no decorrer de vários cultivos, em condições de campo e, com isso irá alcançar resultados satisfatórios e consistentes sob a eficiência agrônômica de fontes de solubilidade baixa e, por não serem disponibilizados de forma instantânea para as plantas, promovem o efeito residual no solo. Além disso o efeito da produtividade das culturas nem sempre têm relação direta com a quantidade de nutrientes que as plantas absorvem, sendo um problema comum o “consumo de luxo”, (MALAVOLTA et al., 1997).

5 CONCLUSÕES

Houve maior incremento do teor acumulado de K na parte aérea quando utilizou-se a fonte padrão(KCl). A biotita não disponibiliza muito potássio a curto prazo , sendo uma fonte de potássio (K) menos solúvel que a fonte padrão.

Com relação ao potássio no solo, percebe-se efeito residual da biotita em relação ao cloreto de potássio nas doses de 240 e 480 kg ha⁻¹, isto porque a biotita é uma fonte insolúvel que libera o nutriente gradativamente.

O índice de eficiência agronômica da biotita em relação a fonte padrão (cloreto de potássio) foi de 54%.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solo. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes de Minas Gerais: 5ª. Aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25- 32.
- ANDRADE, L.R.M.; MARTINS, E.S.; MENDES, I.C. Carbonatites as natural source of nutrients for Cerrados soils. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 17, Bangkok, 2002. **Proceedings...** Bangkok: ISSS. (CD- ROM).
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K; SANTOS, D.F.; COUTO, P.A. Aplicação de rochas silicáticas como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas. **Espaço & Geografia**, Goiânia, v. 9, n. 1, p. 63-84, 2006.
- BONAMIGO, L, A. A cultura do milheto no Brasil, implantação e desenvolvimento no cerrado. In: WORKSHOP INTERNACIONAL DE MILHETO. 1999. Planaltina. **Anais ...** Planaltina: Embrapa Cerrados. 1999. p. 31-65.
- CALMAK, I. Protection of plants from detrimental effects of environmental stress factors. In: **POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA**. 2005. Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Associação brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 2005. p. 261-279.
- CANADIAN POTASH PRODUCERS. Natural Resources Canada, Disponível em: <<http://www.nrcan.gc.ca/mms/efab/mmsd/minerals/potash.htm>> Acesso: 20 mar. 2010.
- CARVALHO, Y. B. Recursos minerais brasileiros na área dos fertilizantes. I SEMINÁRIO DE FERTILIZANTES, 1977, **Anais...** Piracicaba, mimeografado. 1977.
- CASTRO, C de; OLIVEIRA, F.A. de; MOREIRA, A.; SALINET, L.H.; VERONESI, C.O. Rochas brasileiras como fonte alternativa de potássio para a cultura do girassol. **Espaço & Geografia**, Londrina, v. 9, n. 2, p. 179-193, 2006.
- COSTA, M.B.B.; CAMPANHOLA, C. **A agricultura alternativa no Estado de São Paulo**. Jaguariúna: Embrapa- CNPMA, 1997, 63 p. (Documentos, 7).
- DELL, B.; MALAJACZUK, N.; GROVE, T.S. **Nutrient disorders in plantation eucalypts**. Camberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 1995. 104 p.
- DUTRA, L. G. **Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fontes de nutrientes para o milho (*Zea mays* L.) em casa de vegetação**. 1980. 83 f. Tese (Doutorado em Nutrição e Fertilidade de Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1980.
- ECHER, F. R.; FOLONI, J. S. S.; CRESTE, J. E.; BOGIANI, J. C. Fontes de potássio na adubação de cobertura do algodoeiro. I: atributos biométricos e componentes de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO ALGODÃO, 7., 2009, Foz do Iguaçu. **Sustentabilidade da cotonicultura Brasileira e Expansão dos Mercados: Anais...** Campina Grande: Embrapa Algodão, 2009. p. 1938-1943.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1997. 212 p.

FANNING, D.S.; KERAMIDAS, V.Z.; EL-DESOKY, M.A. Micas. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 551- 634.

FAQUIN, V. **Efeito do tratamento térmico do sienito nefelínico adicionado de calcário dolomítico, na disponibilidade de potássio ao milho (*Zea mays* L.), em casa de vegetação**. 1982. 115 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição de Solos) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1982.

HUANG, P.M. Feldspars, Olivines, Pyroxenes and Amphiboles. In: DIXON, J.B.; WEED, S.B. (Ed.). **Minerals in soil environments**. Madison: Soil Science Society of America, 1989. p. 975- 1050.

KAUL, O.N.; SRIVASTAVA, P.B.L.; NEGI, J.D.S. Nutrition studies on *Eucalyptus*. V. Diagnosis of mineral deficiencies in *Eucalyptus citriodora* seedlings. **Indian Forester**, Dehra Dun, v.96, n.10, p.787-790, 1970.

KINPARA, D.I. **A importância estratégica do potássio para o Brasil**. Planaltina: Embrapa Cerrados. 2003. 27 p. (Documentos, 100).

KORNDÖRFER, G. H. **Apostila Potássio**. Disponível em <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/new/dpv24/Apostilas/POTASSIO>> Acesso em: 20 mar. 2010.

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

LOPES, A. S.; FREIRE, J. C.; AQUINO, L. H.; FELIPE, M. P. Contribuição ao estudo da rocha potássica - Termo-Poássio de Abaeté (Glauconita) para fins agrícolas. **Agros**, Piracicaba, v.2., p: 32-42, 1972.

LEITE, P.C. **Efeitos de tratamentos térmicos em misturas de verdete de Abaeté, fosfato de Araxá e calcário magnesiano, na disponibilidade de potássio e fósforo**. 1985. 146 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição e fertilidade dos Solos) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras. 1985.

LOPES, A.S. Reservas de minerais de potássio e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato. 2005. p. 21-32.

MACHADO, C.T.T.; RESENDE, A.V.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: II Fertilidade do solo e suprimento de outros nutrientes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. Recife. 2006. **Anais...** Recife: UFRPE/SBCS. 2006, p. 32-45.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: princípios e aplicações**. 2^a ed. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E.; PIMENTEL- GOMES, F.; ALCARDE, J.C. **Adubos e adubações**. São Paulo: Nobel, 2002. 200 p.

MELFI, A.J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1: Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeológica. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v.2, p: 271-285, 1977.

MIELNICZUK, J. **O potássio no solo**. Piracicaba: Instituto brasileiro da potassa e fosfato (EUA) e Instituto internacional da Potassa. 1980. 80 p. (Boletim técnico 2).

NASCIMENTO, M.; LOUREIRO, F. E. L. **Fertilizantes e sustentabilidade: o potássio na agricultura brasileira, fontes e rotas alternativas**. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2004. 66 p. (Série Estudos e Documentos 61).

NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; BARROS, N. F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo, 2007.101 p.

POTAFOS **Nutri- fatos**: informação agronômica sobre nutrientes para as culturas. Piracicaba: Potafos, 1996. 24 p. (Arquivo do Agrônomo, 10).

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343 p.

RESENDE, A.V.; MACHADO, C.T.T.; MARTINS, E.S.; SOBRINHO, D.A.S.; NASCIMENTO, M.T.; FALEIRO, A.S.G.; LINHARES, N.W.; SOUZA, A.L.; CORAZZA, E.J. Potencial de rochas silicáticas no fornecimento de potássio para culturas anuais: I Respostas da soja e do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 30. Recife, 2005. **Anais...** Recife: UFRPE/SBCS (CD-Rom).

ROBERTS, T.L. World reserves and production of potash. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T.L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto de Potassa & Fosfato. 2005. p. 1- 20.

ROCHA FILHO, J.V.C.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. Deficiência de macronutrientes, boro e ferro em *Eucalyptus urophylla*. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 35, n. 35, p. 19-34, 1978.

SANZONOWICKZ, C.; MIELNICZUK, J. Distribuição do potássio no perfil de um solo, influenciado pela planta, fonte e métodos de aplicação de adubos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 9, p. 45-50, 1985.

SILVA, F. DE A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assstat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno, 2009. **Anais...** Reno: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009, p. 12-30.

SILVEIRA, R.L.V.A.; HIGASHI, E.N.; GONÇALVES, A.N.; MOREIRA, A. Avaliação do estado nutricional do *Eucalyptus*: Diagnose visual, foliar e suas interpretações (CD-ROM). In: SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZAÇÃO E NUTRIÇÃO FLORESTAL. Piracicaba, 1999. **Anais...** Piracicaba: IPEF/ESALQ/USP. 1999. p. 25-43.

SILVEIRA, R.L.V.A.; TAKAHASHI, E.N.; SGARBI, F.; BRANCO, E.F. Sintomas de deficiência de macronutrientes e boro em híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em solução nutritiva In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13., Águas de Lindóia, 1996. **Solo-suelo 96**: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS. 1996. (CD-ROM).

SOBRAL, L.F.; FONTES JUNIOR, R.C.; VIANA, R.D., MARTINS, E.de S. Liberação de K pelo flogopitito, ultramáfica e bracha em um Latossolo Amarelo dos Tabuleiros costeiros. **Espaço & Geografia**, Planaltina, v. 9, n. 1, p. 117-133, 2006.

TÁVORA, J.E.M. Reservas minerais de potássio e suas explorações. In: YAMADA, T.; IGUE, K.; MUZILLI, O.; USHERWOOD, N.R. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1982, p. 37-50.

WIKIPÉDIA. Biotita, Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/biotita>.> Acesso: 20 mar. 2010.

WILL, G.M. Some change in the growth habit of *Eucalyptus* seedlings caused by nutrient deficiencies. **Empire Forestry Review**, Londres, v. 40, n. 4, p. 301-307, 1961.

YAMADA, T. Potássio – Situação atual, problemas e perspectivas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DO SETOR DE FERTILIZANTES, 1.; ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 6., São Paulo, 1994. **Anais...** São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1994. p. 17-33.