

Março e Abril de 1984

VOL. XXXI

N.º 174

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA

**MINERAIS POTÁSSICOS, PARCIALMENTE
ACIDIFICADOS OU NÃO, UTILIZADOS
COMO FONTES DE NUTRIENTE
PARA O MILHO (*Zea mays* L.),
EM CASA DE VEGETAÇÃO:
II. POTÁSSIO ABSORVIDO^{1/}**

Leoncio Gonçalves Dutra^{2/}
José Mário Braga^{3/}
José Domingos Fabris^{4/}
José Tarcísio Lima Thiébaud^{5/}

1. INTRODUÇÃO

A maior parte do potássio existente no solo origina-se de minerais potássicos representados por feldspatos (ortoclásio e microlina), por feldspatóides (leucita), por micas (biotita e muscovita) e por argilas micáceas, conhecidas como ilitas (1). A fração liberada por esses minerais forma parte do potássio do solo, onde o elemento se encontra sob diversas formas químicas, que, estando em equilíbrio dinâmico entre eles, liberam o potássio que é absorvido, utilizado e/ou acumulado no vegetal (1, 2, 6, 11).

^{1/} Parte da Tese de Doutorado apresentada, pelo primeiro autor, à U.F.V.

Recebido para publicação em 13-4-1983.

^{2/} Centro Nacional de Pesquisa de Seringueira e Dendê — 69000 Manaus, AM.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{4/} Departamento de Química da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

^{5/} Departamento de Matemática da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

A quantidade de potássio absorvida, utilizada e/ou acumulada nos vegetais, é um parâmetro que avalia a disponibilidade do elemento nos solos. O conceito aplicado a solos estende-se a todas as fontes do elemento, permitindo compará-las e estudar as possibilidades de utilização dessas fontes (2). Em geral, essa comparação é feita considerando uma fonte solúvel em água, como referência.

Entretanto, o Brasil, atualmente, não possui reservas conhecidas, em operação, deste mineral, que possam suprir a demanda nacional. Daí, a razão das importações de fontes solúveis para aplicação na agricultura. Todavia, o País possui, distribuídas por todo o território nacional, fontes menos solúveis como a biotita e a leucita, que poderiam, desde que convenientemente industrializadas, suprir a planta do nutriente. Semelhantemente às rochas fosfatadas, os métodos empregados nesta industrialização utilizariam a acidificação da rocha, depois da moagem a um determinado tamanho de partícula, tornando o produto mais rapidamente assimilável, segundo assegura KELLER (5).

O trabalho conduzido por BRAGA *et alii* (3), de acidificação parcial de rocha fosfatada, visando a obtenção de fertilizantes fosfatados de menor solubilidade em água que em superfosfato simples, porém como potenciais de utilização idênticos ao superfosfato simples, por exemplo, permitiu generalizar o raciocínio, propiciando, com isso, a formular as seguintes indagações relativas às rochas potássicas: o processo de acidificação deve ser também aplicável a elas? Deve haver coerência na utilização da acidificação parcial para as rochas potássicas? Evidências dessas possibilidades foram obtidas por DUTRA *et alii* (4).

O presente trabalho foi conduzido com os seguintes objetivos:

- a) estudar o efeito da acidificação parcial sobre algumas rochas potássicas, em termos de potássio absorvido;
- b) testar novas fontes de adubos potássicos para aplicá-los em solos que tenham carência dele.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados deste trabalho foram obtidos do ensaio realizado por DUTRA *et alii* (4). Para isso, conduziram-se quatro experimentos distintos no delineamento em blocos camalizados, sendo aproveitados três para o trabalho, cada um deles com uma fonte potássica: a biotita moída e acidificada com ácido sulfúrico, a carnalita «in natura» e o cloreto de potássio empregado como testemunha relativa. Todos os ensaios foram realizados num solo pobre em K (Quadro 1).

Os tratamentos nos ensaios com cloreto de potássio e carnalita obedecem ao esquema fatorial (6×2) em repetições: seis níveis de potássio (0,0, 0,2, 0,4, 0,8, 1,6 e 3,2 vezes o valor da C.T.C. do solo utilizado) e dois níveis de calagem, com e sem aplicação de calcário.

No experimento com biotita acidificada, empregou-se o esquema fatorial em três repetições: ($5 \times 4 \times 2$), correspondendo o valor da C.T.C. do solo utilizado com a biotita acidificada; quatro níveis da acidificação, isto é, 5, 15, 25 e 35%, em termos de peso do mineral para peso do ácido e dois níveis de calagem, com e sem aplicação de calcário. Neste ensaio, o nível 0,0 de potássio foi tomado como referência, não constando da análise estatística.

As quantidades utilizadas de cada mineral potássico, acidificado ou não, aplicadas nos vasos, em forma de pó, foram calculadas tomando como base seus teores de K-total.

Plantaram-se, em cada vaso, cinco sementes de milho híbrido «CMS-203» e, após 5 dias, foram desbastadas em três plântulas. O dia do desbaste foi conside-

QUADRO 1 - Resultados das análises químicas^{1/} e físicas^{2/} de uma amostra do solo, antes e depois da calagem (média de três repetições)

Características	Resultados	
	Antes da calagem	Depois da calagem
pH (em água, 1:2,5)	5,1	6,3
P (ppm) ^{3/}	2	1
P ⁺ (ppm) ^{3/}	13	12
Ca ⁺⁺ (eq.mg/100 g de solo) ^{4/}	10	3,8
Mg ⁺⁺ (eq.mg/100 g de solo) ^{4/}	0,3	1
Al ⁺⁺⁺ (eq.mg/100 g de solo) ^{4/}	0,9	-
H (eq.mg/100 g de solo) ^{5/}	3,0	1,32
Al ⁺⁺⁺ (eq.mg/100 g de solo) ^{5/}	0,8	0,0
% C ^{6/}	1,04	0,89
Valor da C.T.C. (eq.mg/100 g de solo)	5,1	6,1
Cap. Máx. Adsorção de P (mg P/g solo) ^{7/}	0,586	-
Capacidade de campo (%)	29	-
Umidade de murchamento (%)	15	-
Argila (%)	60	-
Silte (%)	13	-
Areia grossa (%)	23	-
Areia fina (%)	4	-

1/ Análises realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da U.F.V.

2/ Análises realizadas no Laboratório de Física do Solo da U.F.V.

3/ Usando o extrator de Mehlich, VETTORI (15).

4/ Usando KCl, VETTORI (15).

5/ Usando acetato de cálcio 1N, pH 7,0, VETTORI (15).

6/ Método de Walkley-Black, ALLISON (1).

7/ Usando o método de OLSEN e WATANABE (13).

rado como o tempo zero para todos os ensaios. Os vasos foram irrigados diariamente, duas a três vezes ao dia, com água suficiente para atingir 80% da capacidade de campo do solo utilizado. Semanalmente, aplicou-se a solução nutritiva.

A colheita da parte aérea foi feita separadamente da parte radicular. Ambas foram lavadas, secadas, pesadas e mineralizadas. Em todos os extratos minerais determinou-se o potássio por fotometria de chama.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os dados dos Quadros 2, 3 e 4, vê-se que as quantidades de potássio acumuladas no vegetal diferiram, significativamente, ao nível de 5% de probabilidade, com relação aos diferentes níveis de potássio e ao processo de acidifi-

QUADRO 2 - Médias das quantidades de potássio absorvido e acumulado pela parte aérea do milho e resultados do Teste de Tukey (1)

I. Com calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio(2)/	Carnalita(2)/	Acidificação da biorita (3)		
			5	15	25
			mg K/vaso		
20	451,30 bA	440,06 cA	108,69 eAa	116,51 cAa	106,97 bCa
40	684,57 aA	693,61 aA	230,97 dAa	195,41 bAa	176,08 abAa
80	684,90 aA	593,36 abA	445,23 cAa	408,85 aAa	209,55 aAa
160	477,54 bA	504,44 bCa	646,31 bAa	381,64 aAa	56,35 cAa
320	360,16 bA	0,00 dA	778,49 aAa	74,27 cAa	0,00 aAa
	10,08 cA	5,27 dA			13,06

II. Sem calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio(2)/	Carnalita(2)/	Acidificação da biorita (3)		
			5	15	25
			mg K/vaso		
20	516,80 bB	380,79 cA	24,54 cBa	69,48 abCa	74,44 aAa
40	574,20 aB	679,38 aA	92,43 cBa	108,59 aAa	32,12 abAa
60	612,69 aA	607,46 abA	273,34 aAa	85,52 abBb	46,78 aAa
160	517,56 aA	193,07 bB	25,39 bBa	0,00 aAa	0,00 aAa
320	227,62 bB	0,00 dA	286,37 abA	0,00 cBb	0,00 aAa
	11,22 cA	6,16 dA			14,92

Para as pontes cloreto de potássio e carnalita, dentro de um mesmo nível de calagem, as médias dos níveis de potássio seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não apresentam diferenças estatísticas. Dentro de um mesmo nível de potássio, as médias dos níveis de calagem seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente.

Para a biorita, dentro de cada nível de calagem e acidificação, as médias dos níveis de potássio seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não apresentam diferenças estatísticas. Dentro de cada nível de acidificação e de potássio, as médias dos níveis de calagem seguidas de pelo menos uma mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Também com a mesma letra grega não apresentam diferença significativa os níveis de acidificação dentro dos níveis de potássio e calagem.

1/ Nível de significância de 5%.

2/ Média de 4 repetições: 3/ Média de 3 repetições.

QUADRO 3 - Médias das quantidades de potássio absorvido e acumulado pelas raízes do milho e resultados do Teste de Tukey

I. Com calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio(2)/	Carnalita(2)/		Acidificação da biotita (t) 3/		
		5	15	25	35	
mg K/vaso						
20	5,98 bA	30,73 aA	2,78 cAA	4,09 bcAA	3,19 abAA	3,20 abAA
40	12,24 aA	40,21 aA	6,31 bcAA	8,71 abAA	6,41 abA	9,34 aAA
80	8,28 bA	37,68 aA	13,05 bAA	11,07 aaAa	9,23 aaAa	4,47 abAa
160	8,67 abA	29,47 aA	20,85 aAA	10,31 abAa	1,94 bAa	0,00 bAa
320	1,11 cA	0,00 bA	23,06 aAA	0,00 cAa	0,00 bAa	0,00 bAa
	0,22 cA	0,47 bA				0,34

II. Sem calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio(2)/	Carnalita 2/		Acidificação da biotita (t) 3/			
				5	15	25	35
		mg K/vaso					
20	3,01 aB	17,16 aB	0,50 cAA	3,40 aAA	3,16 aAA	2,26 aAA	
40	3,21 aB	31,02 aA	2,93 bcAA	3,35 abAA	1,20 abA	0,93 abA	
80	1,64 aB	26,51 aA	8,76 abAA	4,85 abAa	1,87 abA	0,74 aAa	
160	0,24 aB	21,18 aA	7,04 abcBA	1,27 abAa	0,00 aAa	0,00 aAa	
320	0,05 aA	0,00 bA	12,24 abA	0,00 aAa	0,00 aAa	0,00 aAa	
	0,21	0,25				0,23	

Para cloreto de potássio e carnalita, dentro de um mesmo nível de calagem, as médias dos níveis de K seguidas de uma mesma letra minúscula não apresentam diferenças estatísticas. Dentro de um mesmo nível de potássio, as médias dos níveis de calagem seguidas de uma mesma letra minúscula não diferem estatisticamente.

Para a biotita, dentro de cada nível de calagem e acidificação, as médias dos níveis de K, seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não apresentam diferença estatística. Dentro de cada nível de acidificação de potássio, com a mesma letra grega não diferem estatisticamente. Dentro de cada nível de acidificação de potássio e calagem, as médias dos níveis de K seguidas de uma mesma letra grega não diferem estatisticamente.

1/ Nível de significância de 5%.

2/ Média de 4 repetições. 3/ Média de 3 repetições.

QUADRO 4 - Médias das quantidades totais de potássio absorvida e acumulada pelo milho e resultados do teste de Tukey

I. Com calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio $\frac{2}{2}$	Carnalita $\frac{2}{2}$	Acidificação da biotita (%) $\frac{3}{3}$				
			mg K/vaso				
			S	15	25	35	
20	457,28 bCa	470,79 cA	111,47 cAa	120,61 cda	110,09 bcAa	103,92 bAa	
40	696,82 aA	753,82 aA	237,28 dAa	204,11 bAa	182,48 abAa	210,72 aAa	
80	693,18 aA	631,04 aBa	456,28 cAa	419,92 aAa	218,75 aAa	93,98 bAa	
160	486,21 bCa	533,91 bCa	667,20 bAa	391,95 abAa	58,28 cdaa	0,00 cAa	
320	501,26 cA	0,00 dA	801,55 aBa	74,27 dAa	0,00 dAa	0,00 cAa	
	10,29 dA	5,74 dA					
					7,63		

II. Sem calagem

Níveis de K no solo, como % da C.T.C.	Cloreto de potássio 2/	Carnalita 2/	Acidificação da biotita (1) 3/				
			5	15	25	35	
							mg K/vaso
20	319,81 bA	397,95 cA	25,04 cBa	72,88 abcAa	77,46 aAa	73,07 aAa	
40	577,41 aB	710,40 aA	95,36 cBa	111,94 aBa	33,32 aBb	16,82 aBb	
80	614,33 aA	633,96 aBa	281,09 aBa	90,37 abBb	48,66 aBb	31,34 aBb	
160	517,80 aA	538,80 aA	200,11 bBa	26,66 bBb	0,00 aBb	0,00 aAa	
320	227,67 bB	0,00 dA	298,61 aBa	0,00 cBb	0,00 aAa	0,00 aAa	
	11,43 cA	6,41 dA			6,91		

Para cloreto de potássio e carnalita, dentro de um mesmo nível de calagem, as médias dos níveis de K seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não apresentam diferenças estatísticas. Dentro de um mesmo nível de potássio, as médias dos níveis de calagem seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente.

Para a biotita, dentro de cada nível de calagem e acidificação, as médias dos níveis de potássio seguidas de pelo menos uma mesma letra minúscula não apresentam diferenças estatísticas. Dentro de cada nível de acidificação e de potássio, as médias dos níveis de calagem seguidas pela mesma letra maiúscula não diferem estatisticamente. Quando comparadas com a mesma letra grega não apresentam diferença significativa os níveis de acidificação dentro dos níveis de potássio e calagem.

$\frac{1}{2}$ Nível de significância de 5%.

$\frac{3}{3}$ Média de 4 repetições, $\frac{2}{2}$ Média de 3 repetições.

cação de biotita, e que a calagem atuou diferentemente na presença de níveis de potássio, ao mesmo tempo que diferentes acidificações da biotita possibilitaram níveis distintos de potássio. A significância de níveis de calagem e de acidificação foi consequência dos efeitos das acidificações que liberaram quantidades distintas do elemento na presença ou na ausência da calagem.

Observa-se também que os níveis de potássio influíram significativamente na produção da planta, tanto no solo com calagem quanto no solo sem calagem, para todas as fontes utilizadas. Além disso, o efeito desses níveis, no solo com calagem, foi superior ao seu efeito no solo sem calagem.

Por outro lado, o cloreto de potássio possibilitou a máxima absorção de potássio com a utilização de níveis intermediários de fertilizantes, com ou sem calagem, resultando em maiores acúmulos do nutriente na parte aérea, nas raízes e no total da planta.

Com relação à carnalita, as plantas mostraram comportamento e quantidades próximas às do cloreto de potássio, com ou sem calagem (Quadros 2, 3 e 4). Em razão do emprego da carnalita «in natura», houve pequenas alternâncias entre quantidades absorvidas de potássio provenientes da carnalita e do cloreto de potássio.

De acordo com os quadros já citados, observa-se que, com o emprego da biotita, os resultados foram diferentes conforme o nível de acidificação e o nível de potássio aplicado ao solo. Por exemplo, no primeiro nível de potássio aplicado ao solo (20% da CTC) os dados não mostram diferenças significativas pela ação da acidificação da biotita em todos os níveis. Ao mesmo tempo, nota-se que a acidificação teve efeito a partir da acidificação de 15% e quando foi aplicado o nível de potássio a partir de 40% da CTC. Nas maiores porcentagens de acidificação o potássio absorvido decresceu.

O processo de acidificação da biotita promoveu a liberação de potássio, em alguns casos, em quantidades equivalentes às de cloreto de potássio e carnalita, que, posteriormente, foram absorvidas pelo vegetal (Quadro 2). A calagem do solo, no experimento em que se utilizou a biotita acidificada, propiciou melhores condições para o desenvolvimento e produção de raízes e, conseqüentemente, das plantas que, por sua vez, absorveram o potássio liberado da biotita acidificada em maiores quantidades que no solo sem calagem (Quadros 2, 3 e 4).

Ao mesmo tempo, a calagem do solo favoreceu inicialmente a absorção de potássio liberado com a acidificação da biotita, em quantidades quase equivalentes, ou mesmo superiores, em alguns casos, às provenientes das fontes mais solúveis; a biotita acidificada a 25% não aumentou a produção do potássio absorvido pelas plantas no solo sem calagem com o nível 1,6 vezes a CTC, o que ocorreu apenas no solo com calagem. Finalmente, a calagem diminuiu os efeitos indesejáveis do excesso do potássio, propiciando melhor balanceamento nas relações K/Ca+Mg no vegetal, resultado semelhante aos obtidos por Loué, citado por LUCAS e SCARSETH (7), MUNSUN (8), NELSON (9) e NOEGLE (10), dentre outros.

Também as quantidades de potássio absorvidas pelo vegetal, provenientes do solo sem fertilização potássica, não foram suficientes para que o milho tivesse crescimento normal. A pequena capacidade do solo utilizado para suprir o potássio definiu as pequenas quantidades do nutriente no vegetal, as quais não se alteraram com a utilização da calagem (Quadros 2, 3 e 4).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi estudar a possível utilização de minerais potássio-

cos não tradicionalmente empregados como fertilizantes como fontes de nutrientes para as plantas.

Para isto, foram testadas como fontes de potássio a biotita moída e acidificada (5, 15, 25 e 35% peso/peso) com ácido sulfúrico, a carnalita e o cloreto de potássio. Estas fontes foram usadas em seis níveis de potássio correspondentes a 0, 20, 40, 80, 160 e 320% da CTC do solo utilizado e em dois níveis de calagem (com e sem calagem). As quantidades usadas foram calculadas tomando como base o teor total das fontes. Foram deixadas em cada vaso cinco plântulas de milho «CMS-203», depois de 45 dias foi colhida a parte aérea e separada a parte radicular. Tanto a parte aérea como as raízes foram mineralizadas; nos extratos analisou-se o potássio.

Em cada vaso foram colocadas cinco plântulas de milho híbrido «CMS-203», depois de cinco dias foram desbastadas em três; o dia de desbaste foi considerado como o tempo zero para todos os ensaios. Os vasos foram irrigados diariamente, duas a três vezes ao dia, com água suficiente para atingir 80% de capacidade de campo do solo utilizado. Semanalmente, aplicava-se a solução nutritiva.

A colheita da parte aérea do milho foi realizada após obtenção de amostras foliares: posteriormente, retiraram-se as raízes do solo, que, à semelhança da parte aérea, foram lavadas, secadas, pesadas e mineralizadas. Em todos os extratos minerais o potássio foi determinado por fotometria de chama.

Dentro das limitações dos ensaios experimentais, chegou-se às seguintes conclusões:

- 1) A acidificação da biotita mostrou ser um processo tecnicamente viável em promover a liberação do nutriente existente no mineral, com conseqüente absorção pelo vegetal.
- 2) Houve aumento de quantidade absorvida de potássio pelas plantas com a elevação dos níveis de acidificação e dosagem para a biotita. Nos níveis intermediários, as absorções nos tratamentos com biotita foram semelhantes às obtidas com cloreto de potássio.
- 3) As quantidades de potássio provenientes da carnalita e a absorvida pelas plantas equivalem às provenientes do cloreto de potássio.
- 4) A calagem promoveu significativo aumento na absorção de potássio, evidenciando a importância das relações entre os nutrientes potássio, cálcio e magnésio.

5. SUMMARY

(POTASSIUM MINERALS AS NUTRIENT SOURCES FOR CORN (*Zea mays* L.) UNDER GREENHOUSE CONDITIONS: II. ABSORVED POTASSIUM)

The effects of potassium minerals were studied as these influenced the potassium uptake by corn. Biotite, partially acidified, and carnalite, not acidified, were employed with potassium chloride used for comparison.

On basis of the results it was concluded:

1. With acidified biotite, potassium was liberated from the minerals.
2. Potassium uptake was increased when the levels of acidification were increased.
3. The quantity of potassium uptake from carnalite was equivalent to that absorbed from potassium chloride.
4. Liming increased potassium uptake.

6. LITERATURA CITADA

1. BRACK, C.A. *Soil plant relationships*. 2 ed. New York, John Wiley, 1968. 792 p.
2. BRAGA, J.M. *Formas de potássio e estabelecimento de nível crítico para alguns solos do Estado de Minas Gerais*. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1972. 143 p. (Tese de Doutorado).
3. BRAGA, J.M., FRANCO, M. & THIÉBAUT, J.T.L. Efeito de fósforos naturais parcialmente acidificados com H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 em sorgo granífero (*Sorghum bicolor* L.): II — Fósforo absorvido. *Revista Ceres*, 26(144):131-144. 1979.
4. DUTRA, L.G., BRAGA, J.M., THIÉBAUT, J.T.L. & FABRIS, J.D. Minerais potássicos, acidificados ou não, utilizados como fonte de nutrientes para o milho (*Zea mays* L.) em casa de vegetação: I — Peso da parte aérea, das raízes e total. *Rev. Ceres* 29(162):176-193. 1982.
5. KELLER, W.D. *The principles of chemical weathering*. Columbia, Missouri, Lucas Brothers Publishers, 1968. 111 p.
6. LAWTON, J. & COOK, R.L. Potassium in plant nutrition. *Adv. Agron.*, 6:253-303. 1954.
7. LUCAS, R.R. & SCARSETH, G.D. Potassium, calcium e magnesium balance in plants. *Agron., J.*, 39:887-896. 1947.
8. MUNSUN, R.D. *Interaction of potassium and other ions*. In: The role of potassium in agriculture. KILMER, V.J.; YOUNTS, S.E. BRANDY, N.C. (ed.). Madison, American Society of Agronomy, 1968. p. 321-353.
9. NELSON, L.B. The mineral nutrition of corn as related to its growth and culture. *Adv. Agron.* 8:321-375, 1956.
10. NOEGLE, J.C. Ionic balance and growth of sixteen plant species. *Soil Sci. Soc. Amerc. Proc.*, 30:763-766. 1966.
11. REITEMEIER, R.F. Soil potassium. *Adv. Agron.* 3:113-164. 1951.