

APLICAÇÃO DE ROCHAS SILICÁTICAS COMO FONTES ALTERNATIVAS DE POTÁSSIO PARA A CULTURA DO ARROZ DE TERRAS ALTAS

**Morel Pereira Barbosa Filho¹, Nand Kumar Fageria¹, Dionísio
Ferreira Santos¹ & Poliana Alves Couto²**

¹Embrapa Arroz e Feijão
Rod. Goiânia a Nova Veneza, Km 12, CEP: 75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO.
morel@cnpaf.embrapa.br

²CEFET, Goiânia, GO
Curso de Química

Recebido 12 de março de 2006, revisado 10 de maio, aceito 22 de julho

RESUMO – Conduziram-se três experimentos em casa de vegetação, sendo um de incubação sem plantas e dois com plantas. No primeiro, o objetivo foi avaliar a capacidade de liberação de K trocável para o solo de cinco fontes de rochas silicáticas de diferentes frações granulométrias e seus efeitos no pH do solo. O método empregado foi o de incubação da mistura de 600g de terra + o correspondente a cinco t ha⁻¹ de cada material de rocha. No segundo, o objetivo foi avaliar a resposta do arroz, em termos de produtividade de grãos a doses de K₂O na forma de rochas silicáticas (0, 75, 150, 225, 300 kg ha⁻¹), baseadas no teor total de cada material de rocha (brecha alcalina, ultramáfica alcalina e flogopitito). O terceiro teve por objetivo avaliar a influência de proporções de misturas dessas rochas silicáticas com o KCl na produtividade do arroz cv. Curinga. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com três, quatro e seis repetições no primeiro, segundo e terceiro experimento, respectivamente. A granulometria dos materiais foi padronizada em partículas <0,03mm. Como referência foram utilizados o KCl e uma testemunha sem K. A capacidade das fontes de rochas silicáticas de liberar K para o solo variou conforme a rocha silicática utilizada e o tempo de incubação. As frações de 45 e 60 meshes foram as que mais disponibilizaram o K trocável. As rochas ultramáfica alcalina e brecha alcalina mostraram-se mais eficientes em liberar K para o solo para todas as frações e tempo de incubação, sendo que a liberação máxima ocorreu aos 90

dias de incubação. O arroz de terras altas respondeu significativamente ($P < 0,05$) e positivamente à aplicação de K na forma de rocha silicática quanto à produtividade de grãos, produção de massa de matéria seca e número de panículas/planta, porém a magnitude de resposta variou com a fonte de rocha silicática. A ultramáfica alcalina mostrou-se superior à brecha alcalina, não se diferenciando do KCl comercial como fonte de K. As produtividades de grãos e de massa da matéria seca tiveram aumentos significativos na medida em que aumentava a quantidade de KCl na mistura com as rochas silicáticas.

Palavras-Chave: fertilização potássica, dissolução de potássio, *Oryza sativa* L., rocha potássica.

ABSTRACT – Three greenhouse experiments were conducted, one incubation without plants and two with plants. In the first the objective was to evaluate exchangeable K liberation capacity of five sources of silicate rocks of different particle size to soil and their effect on soil pH. Method used was incubation of 600 g soil plus corresponding 5 t ha⁻¹ of rock material. The objective of second experiment was to evaluate response of rice in terms of grain yield as a function of K rates in the form of silicate rocks (0, 75, 150, 225, and 300 kg ha⁻¹), based on total concentration of each rock material (alkaline breccia, alkaline ultramaphic and phlogopitite). The objective of third experiment was to evaluate influence of proportion mixture of silicate rocks to KCl on rice productivity cultivar Curinga. Experimental design was completely randomized with three, four and six replications in the first, second and third experiments, respectively. Particle size of the material was standardize to <0.03 mm. The KCl and one control treatment without K were used as reference treatments. Silicate rocks capacity to liberate K to soil solution varied according to type of silicate rock and time of incubation. The fractions of 45 and 60 mesh were able to supply more exchangeable K. Alkaline breccia and alkaline ultramaphic rocks were more efficient in K liberation to soil for all fractions and incubation time.

However, maximum liberation of K occurred at 90 days of incubation period. Upland rice responded significantly ($P < 0.05$) and positively to K application in the silicate rock form to grain yield, shoot dry weight and number of panicles per plant. However, response magnitude varied according to silicate rocks. Alkaline ultramaphic showed superiority compared to alkaline breccia and commercial KCl did not differ to K source. Grain yield and shoot dry weight increased significantly as the quantity of KCl increased in the mixture of silicate rocks.

Keywords: potassium fertilization, potassium dissolution, *Oryza sativa* L., potassium rock.

INTRODUÇÃO

No Brasil, cerca de 90% do potássio (K) utilizado na agropecuária é importado, na forma de KCl, principalmente do Canadá e da Rússia, com custos totais anuais elevados para o País com tendência de crescimento em função do aumento da produção agropecuária. Além disto, o K constitui um dos nutrientes de maior demanda pelas plantas (RITCHEY, 1982). Apesar das reservas brasileiras de KCl serem pequenas, existem várias rochas silicáticas que contêm K, ricas em flogopita ou biotita, abundantes no Brasil, com potencial de uso como fertilizante em sua forma moída, também conhecidas por “pó de rocha”.

As reservas de minerais silicáticos potássicos podem ser encontradas em várias regiões brasileiras com potencial de uso nas pequenas propriedades localizadas mais próximas das reservas. Como fonte de potássio solúvel em água e de interesse comercial, apenas as reservas localizadas no estado do Sergipe, no município de Rosário do Catete, estão sendo exploradas comercialmente, com produção atual de 658,0 mil t ano⁻¹ de KCl ou 394,8 mil t

ano⁻¹ de K₂O, representando 10,8 da demanda nacional (ANDÁ, 2004; Lopes, 2005). Além desta reserva, existem outras. Apesar de no Brasil ser encontradas outras reservas de potássio, o País continua dependente da importação para suprir a demanda interna, sendo o cloreto de potássio responsável por considerável valor das importações brasileiras devido à sua solubilidade e alto teor de K.

Desde 1998 já se pesquisam rochas silicáticas como fontes alternativas de nutrientes para a agricultura. Os resultados positivos alcançados em estudos realizados no Instituto de Geociências da Universidade de Brasília e a Embrapa Cerrados, indicaram que os carbonatitos, rochas ígneas com 50 % ou mais de carbonatos primários, têm poder de correção do pH do solo semelhante a calcários, constituindo fonte de Ca e Mg para as plantas. A fonte de K naquela rocha é a flogopita, que apresenta alta solubilidade, liberando este nutriente para as culturas.

Uma avaliação sistemática dessas rochas poderá oferecer maior sustentabilidade aos sistemas de produção agropecuária já que apresentam distribuição ampla e variável no território nacional e potencial de uso agrônômico.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a liberação e a disponibilidade de K de diferentes frações granulométricas de rochas silicáticas para o solo e determinar se as aplicações desses materiais em solos de cerrado podem servir de fontes alternativas de K para a cultura do arroz de terras altas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Experimento 1

Para a realização deste ensaio foram coletadas amostras de dois solos em áreas

de cerrado com características físicas e químicas distintas, a uma profundidade de 0-20 cm a partir da superfície do solo. As características físicas e químicas dos solos são apresentadas na **tabela 1**. Os solos foram caracterizados como Latossolo Amarelo distróférrico textura arenosa e Latossolo Vermelho distroférrico textura franca argilosa. As amostras foram colocadas para secar ao ar (TFSA) e, depois, peneiradas em malha de 5 mm e transferidas para recipientes de plásticos com capacidade para 600 gramas de solo. Às amostras foram misturadas o equivalente a 5 t ha⁻¹ de materiais de rochas silicáticas com diferentes frações granulométricas (20, 45 e 60 meshes). As rochas silicáticas utilizadas foram arenito vulcânico, ultramáfica alcalina, biotita xisto, brecha alcalina e carbonatito. O experimento foi um fatorial (5 x 3 x 2 + 2 testemunha) dispostos num delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

Cada mistura (600g de terra + o correspondente a 5 t ha⁻¹ de cada material de rocha), após homogeneização em saco plástico foi acondicionada em recipiente plástico (pote). O controle da umidade do solo foi mantido durante todo período experimental em 70% da capacidade e campo por meio de pesagens periódicas. As amostras das rochas silicáticas e de solos foram mantidas em incubação durante 180 dias, sendo as amostragens realizadas aos 0, 15, 30, 60, 90, 120 e 180 dias após a instalação do experimento para análise do teor K trocável. Em função da liberação de K no tempo foi calculada para cada rocha e fração granulométrica, a eficiência relativa de cada fração do “pó de rochas” em disponibilizar potássio para a solução do solo em comparação com o cloreto de potássio.

Tabela 1 - Principais características químicas e texturais dos solos utilizados

Característica	Latossolo amarelo distróférrico (Franco arenoso)	Latossolo vermelho distróférrico (Argila)
pH em H ₂ O (1:2,5)	5,1	5,2
Ca troc., cmol/dm ³	0,27	0,36
Mg troc., cmol/dm ³	0,14	0,15
Al troc., cmol/dm ³	1,0	0,9
H + Al., cmol/dm ³	6,76	9,0
P, mg/dm ³	0,6	0,6
K troc., mg/dm ³	16,0	39,0
Cu, mg/dm ³	0,3	1,7
Zn, mg/dm ³	0,4	1,0
Fe, mg/dm ³	90	110
Mn, mg/dm ³	2,0	5,0
MO, g/dm ³	8,0	26,0
CTC ₇	7,2	9,6
V %	6,2	6,3
SB, cmol/dm ³	0,45	0,61
Argila, g/Kg	143,2	583,2
Silte, g/Kg	200,0	100,0
Areia, g/Kg	656,8	316,8
Classe textural	Franco Arenoso	Argila

Matéria orgânica determinada pelo método de Walkley Black; Ca, Mg e Al extraídos em KCl 1N; P, K, e micronutrientes extraídos em solução de Mehlich 1 (HCl 0,5N + H₂SO₄ 0,025N). Textura determinada pelo método da pipeta.

Experimento 2

O experimento teve início em janeiro de 2006. Amostras de um solo, classificado como Latossolo Vermelho distróférrico textura argilosa foram coletadas em área da Embrapa Arroz e Feijão no município de Santo Antônio de Goiás (GO) e analisadas química e fisicamente, cujos resultados revelaram: pH (H₂O), 5,0; P (Mehlich 1), 1,0 mg Kg⁻¹; K trocável (Mehlich 1), 59 mg kg⁻¹; Ca + Mg trocáveis (em KCl 0,1 N), 0,37 cmol_c cm⁻³; Al trocável, 1,1 cmol_c cm⁻³; H + Al, 9,9 cmol_c cm⁻³ V%, 5,0; CTC_{pH7}, 10,42 cmol_c cm⁻³ e matéria orgânica,

2,5%. Argila: 568,8 g kg⁻¹, silte: 80,0 g kg⁻¹ e areia: 351,2 g kg⁻¹. Seis kg da amostra de solo foram transferidos para vasos de plástico e adubados com N-P-K e micronutrientes nas quantidades, fontes e formas de aplicação especificadas na **Tabela 2**.

Os tratamentos consistiram da aplicação de duas rochas silicáticas, Brecha alcalina e Ultramáfica alcalina com granulometria < 0,3 mm, nas doses equivalentes ao fornecimento de 75, 150, 225, 300 kg ha⁻¹ de K₂O, calculadas com base no teor total de cada material de rocha silicática. Como referência usou-se um tratamento com KCl comercial e uma testemunha sem K. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com quatro repetições.

Tabela 2. Concentração de nutrientes, fontes e respectivas quantidades adicionadas no plantio e durante o período de crescimento do arroz.

Nutriente	Concentração	Solução	Fonte	Plantio	Cobertura
	(mg kg ⁻¹)	(g litro ⁻¹)		(ml 6 kg ⁻¹ de solo)	
N	200	72,0	NH ₄ NO ₃	25	25
P ⁽¹⁾	200	-	Superfosfato triplo	-	-
B	1,0	2,28	Bórax	15	-
Mo	0,15	0,52	(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	15	-
Cu	1,0	1,57	CuSO ₄ .5H ₂ O	15	-
Zn	5,0	7,60	ZnSO ₄ .7H ₂ O	15	-
Calagem	Para atingir V% de 50%		CaCO ₃ +MgCO ₃ pa		

⁽¹⁾ P será aplicado na forma sólida e os demais nutrientes na forma de solução. O N foi parcelado em duas vezes, metade aplicada no plantio e metade em cobertura, no início do aparecimento do primórdio floral. No feijão será aplicado 1/3 no plantio e 2/3 aos 30 dias após a emergência das plântulas.

Os materiais de rochas silicáticas foram misturados manualmente e individual aos solos em sacos de plástico e a mistura transferida imediatamente para vaso e depois irrigado até aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção de água. A mistura de solo, rocha e corretivo foi incubada por um período de 18 dias para depois proceder-se ao plantio do arroz cv.curinga. Semanalmente, os vasos eram mudados de posição e o nível de umidade mantido pela adição de água por meio de pesagens diárias dos vasos.

Na maturação determinaram-se a produtividade de grãos por planta e ajustado para 0,14g de H₂O g⁻¹ de peso fresco, o número de panículas e a percentagem de perfilhos produtivos (n° panículas na maturação/n° perfilhos máximo na iniciação da panícula-IP).

Experimento 3

Neste experimento foram avaliadas diferentes proporções entre três materiais de rochas silicáticas (ultramáfica alcalina, 3,44% de K₂O, Flogopitita, 5,77% de K₂O e Brecha alcalina, 2,73% de K₂O) com granulometria < 0,3 mm e KCl, sendo a dose de K₂O corresponde a 300 kg ha⁻¹ de K₂O e calculada com base no teor de K total de cada rocha. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com seis repetições, sendo os tratamentos formados por: T1 = testemunha sem K, T2 = 100% rocha+0% KCl, T3 = 75% rocha+25% KCl, T4=50% rocha+50% KCl,25% rocha+75% KCl, T5 = 25% rocha+75% KCl, T6 =0% rocha+100% KCl.

Os demais procedimentos adotados na condução do experimento foram os mesmos descritos para o Experimento 2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Experimento 1

Os efeitos das rochas silicáticas sobre o teor de K trocável no solo argiloso estão apresentados na **Tabela 3**. A disponibilidade de K variou com a rocha silicática utilizada e o tempo de incubação. Embora não tenha sido realizada a análise estatística, pode-se dizer que os fatores mais importantes na liberação de K das rochas para o solo, foram os tipos de rochas silicáticas e o tempo de contato delas com o solo.

As frações granulométricas das rochas influíram pouco na disponibilidade de K do solo argiloso. Dependendo do tempo de reação da rocha com o solo, em geral, as frações de 45 e 60 meshes foram as que mais disponibilizaram o K trocável para o solo. Quanto à eficiência das rochas silicáticas, a Ultramáfica alcalina e a Brecha alcalina mostraram-se mais eficientes para todas as frações e tempo de incubação em termos de K liberado para o solo (**Tabela 3**). Apesar das rochas silicáticas terem se comportado diferentemente no solo e considerando a média das frações granulométricas, a liberação máxima de K trocável ocorreu até os 90 dias de incubação para todas as rochas silicáticas avaliadas.

No solo arenoso observam-se teores de K trocável menores daqueles obtidos para o solo argiloso (**Tabela 4**). A explicação pode ser a liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição da matéria orgânica (2,6 %) associada ao maior teor de argila (58 %) favorecendo o maior contato das partículas do pó de rocha com as do solo (> superfície de contato). Para a Ultramáfica alcalina e a Brecha alcalina, a maior liberação de K trocável para o solo ocorreu aos 90 dias de incubação das rochas com o solo e para as demais aos 180 dias. Embora

apresentando teores menores de K, a Ultramáfica alcalina e a Brecha alcalina foram as mais eficientes na liberação de K para o solo (**Tabela 4**), à semelhança do que ocorreu no solo argiloso.

Fato interessante ainda pode ser observado nas Tabelas 3 e 4 em relação aos efeitos da granulometria nos teores de K determinados, tanto no solo argiloso como no arenoso, isto é, em alguns casos os teores de K trocável foram menores para frações mais finas, ao contrário do que se espera. Uma possível explicação é que, dependendo da granulometria, a composição do pó de rocha pode sofrer variações, sendo possível que em determinada granulometria (mesmo que seja mais fina) pode não conter a flogopitita ou a biotita, que são os minerais desejáveis quanto ao teor e liberação de K para o solo.

Os valores de pH dos solos argiloso e arenoso estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Para todas as rochas silicáticas o pH foi mais elevado no solo arenoso, como era de se esperar devido ao seu maior efeito tampão em comparação ao solo argiloso, que possui maior teor de argila e matéria orgânica (**Tabela 1**). Conforme se observa na **Tabela 5**, as diferentes rochas e as frações granulométricas não influíram no pH do solo argiloso, porém com o decorrer do tempo de contato do pó de rocha e as partículas do solo, houve diminuição nos valores de pH, fato observado também nos tratamentos de KCl e testemunha sem K.

Analisando os dados da **Tabela 6**, constata-se que o pH do solo arenoso aumentou à medida que diminuiu o tamanho das partículas das rochas silicáticas, o que está coerente com o fato de que quanto menores as partículas, maior será a área superficial, e maior a eficiência na correção da acidez. Entretanto, este

fato não ocorreu para as rochas Biotita xisto e Brecha alcalina, não sendo possível, neste estudo, e com as informações disponíveis sobre cada rocha, dar uma explicação. À exceção do Carbonatito que elevou o pH com o tempo de incubação, houve para as demais uma diminuição do pH com o decorrer do tempo. O Carbonatito foi a que mais aumentou o pH do solo, durante todo o período de incubação, o que está de acordo com os resultados obtidos (não publicados) em estudos realizados na Embrapa Cerrados.

A eficiência relativa das frações granulométricas não apresentou resultados consistentes nos dois solos estudados e nos tempos de contato de 90 e 180 dias (**Tabela 7**). No entanto, considerando a média das frações granulométricas, observa-se que a eficiência relativa de todas as rochas silicáticas foi maior no solo argiloso e que esta eficiência diminuiu com o tempo. Possivelmente, parte do K liberado para a solução do solo mais o K adsorvido fracamente nos colóides, com o decorrer do tempo e, considerando que não houve a presença de plantas, tenham sido retido fortemente no solo, tornando-se menos disponíveis pelo extrator de Mellich- 1.

Tabela 3 - Teores de K trocável em $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ no solo argiloso, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas.

Rocha silicática	Granulometria (meshes)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito vulcânico	20	41	35	48	56	56	51
	45	41	37	48	56	58	51
	60	41	38	49	60	55	53
	<i>Média</i>	41	37	48	57	56	52
Ultramáfica alcalina	20	50	49	61	76	77	88
	45	68	64	72	88	82	65
	60	74	64	62	84	80	63
	<i>Média</i>	64	59	65	83	80	72
Biotita xisto	20	41	40	40	88	62	54
	45	42	40	40	62	56	54
	60	47	49	46	63	59	56
	<i>Média</i>	43	43	42	71	59	55
Brecha alcalina	20	53	55	68	87	78	72
	45	59	61	69	80	84	77
	60	56	56	32	78	75	72
	<i>Média</i>	56	57	66	82	79	74
Carbonatito	20	42	37	47	55	61	53
	45	41	40	46	61	58	54
	60	41	42	46	57	62	58
	<i>Média</i>	41	40	46	58	60	55
KCl	-	82	169	163	177	184	192
Test. (-K)	-	41	37	47	47	58	50

⁽¹⁾ Representa média de três repetições.

Tabela 4 - Teores de K trocável em Cmolc dm⁻³ no solo arenoso, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas.

Rocha silicática	Granulometria (meshes)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito vulcânico	20	15	15	15	18	20	19
	45	17	16	15	18	18	19
	60	15	16	15	18	19	19
	<i>Média</i>	16	16	15	18	19	19
Ultramáfica alcalina	20	29	31	30	55	52	50
	45	37	41	39	63	58	51
	60	50	44	32	55	50	50
	<i>Média</i>	39	38	34	58	53	50
Biotita xisto	20	18	18	19	27	26	27
	45	19	22	20	28	30	32
	60	26	25	29	36	38	37
	<i>Média</i>	21	22	23	30	31	32
Brecha alcalina	20	23	25	34	32	35	35
	45	26	29	32	41	37	46
	60	39	37	53	69	58	39
	<i>Média</i>	29	30	40	47	43	40
Carbonatito	20	16	17	17	42	42	45
	45	17	16	16	35	39	41
	60	18	23	25	30	43	42
	<i>Média</i>	17	19	19	36	41	43
KCl	-	38	186	157	165	172	203
Test. (-K)	-	15	14	15	18	19	19

⁽¹⁾ Representa média de três repetições

Tabela 5 - Variações do pH em H₂O do solo argiloso, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas.

Rocha silicática	Granulometria (meshes)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito vulcânico	20	6 ⁽¹⁾	5,4	4,9	4,5	4,3	4,8
	45	6	5,5	5,2	4,2	4,3	4,5
	60	5,9	5,4	5	4,3	4,3	5
	<i>Média</i>	6	5,4	5	4,3	4,3	4,8
Ultramáfica alcalina	20	5,8	5,7	5,3	4,1	4,2	4,8
	45	5,7	5,7	5,3	4,2	4,4	5,1
	60	5,9	5,6	5,1	4	4,6	4,7
	<i>Média</i>	5,8	5,7	5,2	4,1	4,4	4,9
Biotita xisto	20	5,8	5,7	5,3	3,9	4,1	4,3
	45	5,7	5,7	5,4	3,8	3,9	4,2
	60	5,6	5,7	5,4	3,9	4	4,2
	<i>Média</i>	5,7	5,7	5,4	3,9	4	4,2
Brecha alcalina	20	5,6	5,7	5,4	3,9	4,1	4,2
	45	5,7	5,7	5,3	4	4	4,3
	60	5,7	5,7	5,3	3,8	4	4,2
	<i>Média</i>	5,7	5,7	5,3	3,9	4	4,2
Carbonatito	20	5,6	5,5	5,1	4,4	4,7	4,8
	45	5,7	5,7	5,3	4,4	4,6	4,8
	60	6,1	5,6	5,2	4,8	4,9	5,2
	<i>Média</i>	5,8	5,6	5,2	4,5	4,7	4,9
KCl	-	5,3	5,1	5,0	4,3	4,2	4,3
Test. (-K)	-	5,8	5,6	5,3	3,8	3,6	4,6

⁽¹⁾ Representa média de três repetições.

Tabela 6 - Variações do pH em H₂O do solo arenoso, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas.

Rocha silicática	Granulometria (meshes)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito vulcânico	20	6,2 ⁽¹⁾	6,3	6,3	6	6,1	5,7
	45	6,1	6,1	6	5,8	5,6	5,6
	60	6,5	6,7	6,6	6,4	6,2	5,7
	<i>Média</i>	6,3	6,4	6,3	6,1	6	5,7
Ultramáfica alcalina	20	5,4	5,4	5,3	5,2	5,2	5,3
	45	5,5	5,6	5,3	5,6	5,5	5,2
	60	5,9	5,9	5,4	5,6	5,6	5,6
	<i>Média</i>	5,6	5,6	5,3	5,5	5,4	5,4
Biotita xisto	20	5,2	5	4,7	4,7	4,6	4,7
	45	5,2	5,1	4,7	4,6	4,5	4,8
	60	5,3	5,1	4,8	4,8	4,7	4,8
	<i>Média</i>	5,2	5,1	4,7	4,7	4,6	4,8
Brecha alcalina	20	5,2	5	4,8	4,8	4,7	4,7
	45	5,2	5,2	4,8	4,8	4,6	4,8
	60	5,4	5,1	5	4,8	4,8	4,9
	<i>Média</i>	5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	4,8
Carbonatito	20	5,3	5,1	4,9	4,8	5,5	6,1
	45	5,4	5,4	5,4	5,8	5,9	6,8
	60	5,5	5,7	5,8	5,9	6,3	6,9
	<i>Média</i>	5,5	6	6	5,9	5,9	6,6
KCl	-	4,9	4,2	4,2	4,5	3,9	4,6
Test. (-K)	-	5,3	5,1	4,9	4,7	4,9	4,6

⁽¹⁾ Representa média de três repetições.

Tabela 7 - Eficiência relativa (%) das diferentes frações granulométricas das rochas silicáticas, considerando os dois solos e o tempo de incubação de 90 e 180 dias e a eficiência do KCl = 100%.

Rocha silicática	Granulometria Meshes	Tempo de incubação, dias			
		90		180	
		Argiloso	Arenoso	Argiloso	Arenoso
Arenito vulcânico	20	32	11	27	9
	45	32	11	27	9
	60	34	11	28	9
	Média	32	11	27	9
Ultramáfica alcalina	20	43	33	46	25
	45	48	38	34	25
	60	47	33	33	25
	Média	47	35	37	25
Biotita xisto	20	48	16	28	13
	45	25	17	28	16
	60	36	22	29	18
	Média	40	18	29	16
Brecha alcalina	20	49	19	37	17
	45	45	25	40	23
	60	44	42	37	19
	Média	46	29	38	20
Carbonatito	20	31	25	28	22
	45	34	21	28	20
	60	32	18	30	21
	Média	33	22	29	21
KCl	-	100	100	100	100

⁽¹⁾ Representa média de três repetições.

Experimento 2

A produtividade de grãos do arroz foi significativamente influenciada pelas doses, fontes e pela interação entre os fatores estudados. Os resultados demonstraram que a cultura do arroz respondeu significativamente ($P < 0,05$) e de forma linear à aplicação das doses de K das fontes brecha alcalina e ultramáfica alcalina e quadrática (**Figura 1**) à fonte de KCl. Independentemente

da dose de K, a brecha alcalina foi a que apresentou menor produtividade de grãos, não havendo diferença entre o KCl comercial e a ultramáfica alcalina.

Em pesquisas realizadas na Embrapa Arroz e Feijão em 2005 (dados não publicados) visando avaliar a liberação de K para o mesmo solo utilizado no presente trabalho, os resultados também demonstraram que a Ultramáfica alcalina foi mais eficiente para todas as frações e tempos de incubação estudados, em termos de K liberado para o solo, do que a brecha alcalina, flogopitita, arenito vulcânico, carbonatito e biotita xisto. Evidencia-se, com isto, que a rocha ultramáfica é promissora como fonte de K para adubação do arroz de terras altas, entretanto, são necessários outros trabalhos de pesquisa em condições de cultivo em campo e por tempo mais prolongado para comprovação desses resultados.

Na média das fontes, depois de aproximadamente cinco meses de reação com o solo, as doses e as fontes de brecha e ultramáfica não foram suficientes para atingir a produtividade máxima de grãos como ocorreu para o KCl (**Figura 1**). Por se tratar de fontes insolúveis de K, provavelmente o tempo de reação com o solo não tenha sido suficiente para liberar K e torná-lo disponível para as plantas.

Em termos de produção de massa de matéria seca (PMMS), os resultados foram muito semelhantes aos de produtividade de grãos. Houve resposta linear e significativa do arroz ao K independente da fonte. A análise de regressão mostrou uma relação linear significativa entre as doses de K e PMMS (**Figura 2**). Ressalta-se a semelhança de comportamento da ultramáfica alcalina em relação ao KCl comercial, o que a torna como fonte promissora de K.

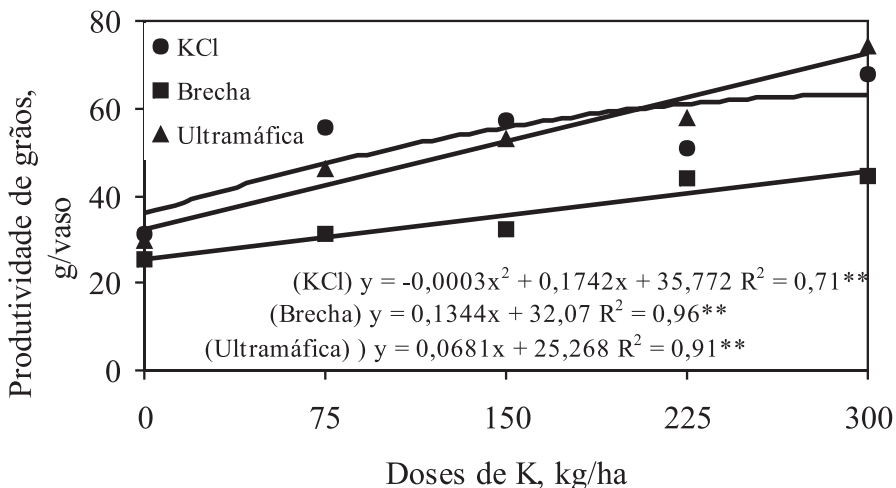


Figura 1 - Efeito da interação entre fontes/rochas silicáticas e doses de K na produtividade de grãos do arroz de terras altas.

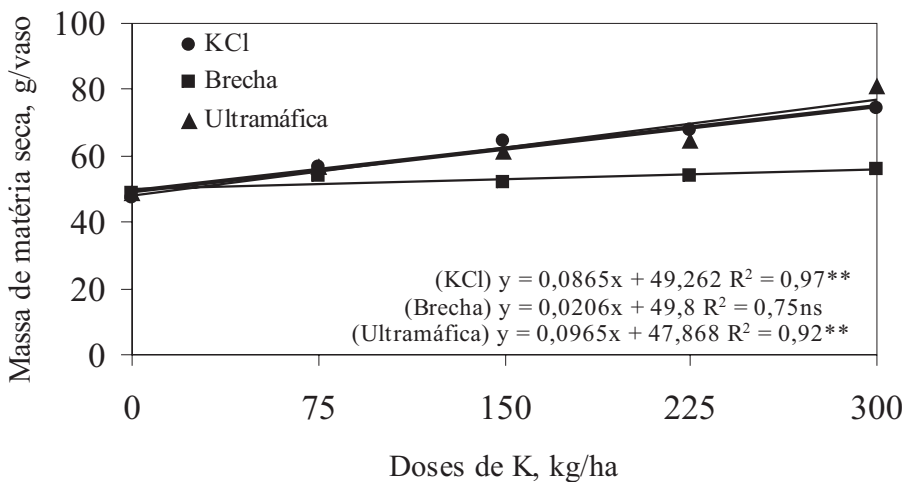


Figura 2 - Efeito da interação entre fontes/rochas silicáticas e doses de K na produção de massa de matéria seca do arroz de terras altas.

Experimento 3

Os tratamentos e interações foram significativos ao nível de $P < 0,01$, influenciando fortemente as variáveis estudadas, exceto a % de perfilhos produtivos (**Tabela 8**). Quando se aplicou apenas as rochas silicáticas como fonte de K para o arroz, as produtividades de grãos e PMMS foram significativamente inferiores aos tratamentos que receberam o KCl isoladamente ou em mistura com os materiais de rocha potássica.

A aplicação de KCl comercial determinou aumento significativo ($P < 0,01$) para a produtividade do arroz. Observe que a produtividade de grãos e de PMMS aumentaram com a quantidade de KCl na mistura das três rochas silicáticas estudadas, porém a ultramáfica alcalina foi significativamente superior às demais, confirmando os resultados observados no experimento anterior em que, avaliou-se diferentes doses de K e suas interações com fontes de rocha potássica (**Tabela 8**).

Tabela 8 - Produtividade de grãos de arroz, produção de massa de matéria seca, nº de panículas/planta e % de perfilhos produtivos, em função da mistura de rocha silicática e KCl em diferentes proporções (média de seis repetições).

Tratamento	Ultramáfica alcalina	Brecha alcalina	Flogopitito	Média
Produtividade de grãos, g/vaso				
Test. (-K)	27,28c ²	27,28c	27,28b	27,28d
100%rocha + 0%KCl	84,65a	76,29a	72,93a	77,96a
75%rocha+ KCl25% ¹	78,06ab	62,44b	62,39a	67,63b
50%rocha + 50%KCl	82,59a	75,60a	71,15a	76,45a
25%rocha + 75%KCl	82,52a	71,65ab	72,41a	75,53a
0% rocha+ 100%KCl	69,50b	38,23c	37,89b	48,54c
Média (CV %)	70,77A	58,58B	57,34B	(10,56)
F	66,916***	62,173***	54,499***	5,304***
Produção de massa de matéria seca, g/vaso				
Test. (-K)	49,61c	49,61c	49,61c	49,61d
100%rocha + 0%KCl	78,22b	55,38c	54,45c	62,68c
75%rocha+ KCl25% ¹	84,50ab	68,72b	69,82b	74,35b
50%rocha + 50%KCl	84,18ab	80,38a	76,45ab	80,34a
25%rocha + 75%KCl	83,12ab	77,27ab	75,83ab	78,74ab
0% rocha+ 100%KCl	89,21a	81,28a	80,60a	83,70a
Média (CV %)	78,14A	68,77B	67,79B	(7,71)
F	40,896***	35,836***	32,152***	4,564***
Nº de panículas/planta				
Test. (-K)	6,6b	6,6c	6,6b	6,6c
100%rocha + 0%KCl	8,6a	7,0bc	7,1ab	7,6b
75%rocha+ KCl25% ¹	8,5a	7,7abc	7,5ab	7,9ab
50%rocha + 50%KCl	8,5a	8,5a	8,2a	8,6a
25%rocha + 75%KCl	8,5a	8,5ab	7,9a	8,2ab
0% rocha+ 100%KCl	9,1a	7,7abc	8,1ab	8,3ab
Média (CV %)	8,4A	7,6B	7,6B	(NS)
F p/ trat.	13,878***	-	-	-
F p/ fontes	11,628***	-	-	-
% de perfilhos produtivos				
Test. (-K)	81,4	81,4	81,4	81,4
100%rocha + 0%KCl	86,4	84,8	89,0	86,7
75%rocha+ KCl25% ¹	81,8	84,6	84,5	83,6
50%rocha + 50%KCl	84,0	83,8	84,3	84,0
25%rocha + 75%KCl	85,4	85,7	87,1	86,1
0% rocha+ 100%KCl	86,9	78,8	83,8	83,2
Média (CV %)	84,3	83,2	85,0	(8,07)

¹Proporções: 75% de rocha + 25% de KCl; 50% de rocha + 50% de KCl e 25% de rocha + 75 de KCl. Dose de K₂O aplicada é equivalente a 300 kg ha⁻¹ e calculada com base no teor total de cada material.

²Médias com a mesma letra não diferem significativamente, pelo teste de Tukey a 5%. Ausência de letras indica diferença não significativa entre tratamentos ou fontes de rochas silicáticas.

***significante ao nível de probabilidade de 0,001. NS = não significante.

CONCLUSÕES

A disponibilidade de K trocável pelo extrator de Mehlich-1 variou com o tipo de rocha silicática e com o tempo de incubação com o solo. Entre as rochas silicáticas, a ultramáfica alcalina e a brecha alcalina foram as mais eficientes na liberação de K com o tempo de incubação, apresentando os maiores teores de K disponível aos 90 dias de incubação.

As rochas silicáticas de arenito vulcânico e carbonatito, por terem mais carbonatos na sua composição, promoveram maiores aumentos de pH da mistura solo/rocha.

O arroz de terras altas respondeu significativamente ($P < 0,05$) e positivamente à aplicação de K na forma de rocha silicática quanto à produtividade de grãos e de produção de massa de matéria seca.

Entre as rochas silicáticas estudadas, a ultramáfica alcalina se mostrou nos dois experimentos superior à brecha alcalina e o flogopitito, não se diferenciando do KCl comercial como fonte de K para o arroz de terras altas.

As produtividades de grãos e de massa de matéria seca aumentaram com a quantidade de KCl adicionada na mistura com as rochas silicáticas, entretanto, a % de perfilhos produtivos não foi influenciada pelos tratamentos e interações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Ministério de Ciência e Tecnologia, fundos setoriais Mineral e do Agronegócio pelo suporte financeiro (Contratos FINEP 2883/03 e CNPq 506313/2003-4) ao Projeto “Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para uso em sistemas agropecuários”. Os autores agradecem ainda

ao CNPq à concessão da bolsa de Dionísio Ferreira Santos; Poliana Alves Couto

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDA, ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. (2004) *Anuário estatístico do setor de fertilizantes 2003*. São Paulo, 158p.

LOPES, A. S. (2005) Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Eds), Simpósio sobre Potássio na Agricultura Brasileira, Piracicaba. *Anais.*, p. 21-32.

RITCHEY, K. D. (1982) O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos. Piracicaba, Instituto da potassa e fosfato, Instituto Internacional da Potassa. *Boletim Técnico*, 7, 69p.