



ISSN 1678-9601

Janeiro, 2007

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e Feijão
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 26

Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas

Morel Pereira Barbosa Filho
Nand Kumar Fageria
Dionísio Ferreira Santos
Poliana Alves Couto

Santo Antônio de Goiás, GO
2007

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Arroz e Feijão

Rodovia GO 462 - Km 12 - Zona Rural - Caixa Postal 179
75375-000 Santo Antônio de Goiás, GO

Fone: (62) 3533 2123

Fax: (62) 3533 2100

www.cnpaf.embrapa.br

sac@cnpaf.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Carlos Agustín Rava*

Secretário-Executivo: *Luiz Roberto Rocha da Silva*

Membro: *Beáta Emöke Madari*

Pedro Luiz Oliveira Almeida Machado

Supervisor editorial: *André Ribeiro Coutinho*

Revisão gramatical: *André Ribeiro Coutinho*

Normalização bibliográfica: *Ana Lúcia D. de Faria*

Capa: *Fabiano Severino*

Editoração eletrônica: *Fabiano Severino*

1ª edição

1ª impressão (2007): 500 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Arroz e Feijão

Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras Altas / Morel Pereira Barbosa Filho ... [et al.]. – Santo Antônio de Goiás : Embrapa Arroz e Feijão, 2007.

24 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Arroz e Feijão, ISSN 1678-9571 ; 26)

1. Arroz de terra altas – Fertilizante potássico. 2. Arroz de terras altas - Rocha potássica. 3. Arroz de terras altas – Fertilidade do solo. I. Barbosa Filho, Morel Pereira. II. Embrapa Arroz e Feijão. III. Série.

CDD 633.18893 (21. ed.)

© Embrapa 2007

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	9
Material e Métodos	10
Resultados e Discussão	13
Conclusões	23
Referências Bibliográficas	23

Rochas brasileiras como fontes alternativas de potássio para a cultura do arroz de terras altas

Morel Pereira Barbosa Filho¹

Nand Kumar Fageria¹

Dionísio Ferreira Santos²

Poliana Alves Couto³

Resumo

Cerca de 95% do potássio (K) consumido na agropecuária brasileira é na forma de cloreto de potássio (KCl), sendo que aproximadamente 90% deste fertilizante é importado, com custos totais anuais elevados para o País. Contudo, existem no Brasil várias rochas silicáticas contendo K, com potencial de uso como fertilizante e condicionador de solo em sua forma moída, também conhecidas por “pó de rocha”. Informações sobre a dissolução desses materiais no solo e concentração de K na solução do solo podem ser importantes para a nutrição e produção das culturas. Assim sendo, 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 (arenito vulcânico, ultramáfica alcalina, biotita xisto, brecha alcalina e carbonatito) 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 Mg 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,

¹ Engenheiro Agrônomo, Doutor em Solos e Nutrição de Plantas, Embrapa Arroz e Feijão, Rod. GO 462, Km 12, 75375-000 Santo Antônio de Goiás-GO morel@cnpaf.embrapa.br

² Engenheiro Agrônomo, bolsista da FINEP.

³ Estudante do curso de Química do CEFET-Goiânia, bolsista da FINEP.

ultramáfica alcalina e flogopitita). 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 $<0,03\text{mm}$. 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 0,35mm e 0,25mm foram as que mais disponibilizaram o K trocável. As rochas ultramáfica alcalina e a 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.

Termos para indexação: Fertilização potássica, dissolução de potássio, *Oryza sativa* L., rocha potássica.

Brazilian Rocks as Alternative Sources of Potassium for Upland Rice

Abstract

About 95% of potassium (K) consumed in Brazilian agriculture is Potassium Chloride (KCl) and approximately 90% of this are imported with high cost to country. In Brazil, there are various silicate rocks, which can be used as potential source of fertilizer and soil conditioner in the ground form, as known as K powder. Information on dissolution of this material in the soil and K concentration in soil solution can be important for nutrition and crop production. 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 (vulcanic "arenito", alkaline "ultramáfica", "biotita" xisto, alkaline "brecha" e carbonatito) of different particle size to soil and their effect on soil pH. Method used was incubation of 600 g soil plus corresponding 5.0 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 "brecha", alkalina "ultramáfica" and flogopitita). 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 standardized to <0.03mm. 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 0,35mm and 0,25mm were able to supply more exchangeable K. Alkaline "brecha" and alkaline

"ultramafica" 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 "ultramafica" showed superiority compared to alkaline "brecha" 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.

Index terms: Potassium fertilization, potassium dissolution, Oryza sativa L., potassium rock.

Introdução

No Brasil, aproximadamente 90% do potássio (K) utilizado na agropecuária na forma de KCl é importado, 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 disso, o K constitui um dos nutrientes de maior demanda pelas plantas, sendo, portanto, importante fator de produção (RITCHEY, 1982). 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 Mg ano⁻¹ de KCl ou 394,8 mil Mg ano⁻¹ de K₂O, representando 10,8% da demanda nacional (ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS, 2004; LOPES, 2005). Embora haja outras reservas de potássio, o País continua dependente da importação para suprir a demanda interna, sendo o KCl responsável por considerável valor das importações brasileiras devido à sua solubilidade e alto teor de K.

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-magnesianos podem ser encontradas em várias regiões brasileiras com potencial de uso nas pequenas propriedades localizadas mais próximas das reservas.

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 na Embrapa Cerrados indicaram que os carbonatitos, rochas ígneas com 50% ou mais de carbonatos primários, apresentam ação corretiva do pH do solo semelhante à dos 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 contribuir para a sustentabilidade dos sistemas de produção agropecuária, já que apresentam distribuição ampla e variável no território nacional e potencial de uso agrônomico.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a liberação e a disponibilidade de K de diferentes frações granulométricas de rochas silicáticas aplicadas no 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.

Material e Métodos

Ensaio sem planta-teste de liberação de K no solo

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 distroférico textura arenosa e Latossolo Vermelho distroférico textura franca argilosa. As amostras (TFSA) foram preparadas e, depois, peneiradas em malha de 5 mm e transferidas para recipientes de plásticos com capacidade para 600 gramas de solo. Às amostras foi misturado o equivalente a 5,0 Mg ha⁻¹ de materiais de rochas silicáticas com diferentes frações granulométricas (0,85, 0,35 e 0,25mm). 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), com os elementos dispostos num delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições.

Cada mistura (600g de terra + o correspondente a 5,0 Mg 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 o período experimental em 70% da capacidade de 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 solução de Mehlich-1 (HCl 0,5N + H₂SO₄ 0,025N), segundo procedimentos descritos em Claessen (1997). 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, considerando o KCl como 100% de eficiência.

Tabela 1. Principais características químicas e texturais dos solos utilizados

<i>Característica</i>	<i>Latossolo amarelo dístroférico (Franco arenoso)</i>	<i>Latossolo vermelho dístroférico (Argila)</i>
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
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.

Ensaio com plantas

Experimentos 2

O experimento teve início em janeiro de 2006. Amostras de um solo, classificado como Latossolo Vermelho distroférico 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) 39 mg kg⁻¹; Ca + Mg trocáveis (em KCl 0,1 N) 0,37 cmol cm⁻³; Al trocável 1,1 cmol cm⁻³; H + Al 9,9 cmol cm⁻³; V% 5,0; CTC_{pH7} 10,42 cmol cm⁻³ e matéria orgânica, 25 g kg⁻¹. Argila: 568,8 g kg⁻¹, silte: 80,0 g kg⁻¹ e areia: 351,2 g kg⁻¹. Seis quilogramas da amostra de solo foram transferidos para vasos de plástico e corrigidos com calcário para elevar a saturação por bases a 50%. Após 18 dias de incubação, procedeu-se à adubação com N-P-K e micronutrientes nas quantidades, fontes e formas de aplicação especificadas na Tabela 2 e, em seguida, à semeadura do arroz cultivar Curinga.

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

<i>Nutriente</i>	<i>Concentração total (mg kg⁻¹)</i>	<i>Solução (g litro⁻¹)</i>	<i>Fonte</i>	<i>Plantio (mL 6 kg⁻¹ de solo)</i>	<i>Cobertura</i>
N(1)	200	72,0	NH ₄ NO ₃	25	25
P(2)	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%	calcário	-	-	-

(1) O N foi parcelado em duas vezes, metade aplicada no plantio e metade em cobertura, no início do aparecimento do primórdio floral. (2) P foi aplicado na forma sólida e os demais nutrientes na forma de solução.

Os tratamentos consistiram na aplicação de duas rochas silicáticas, brecha alcalina, e ultramáfica alcalina com granulometria <0,3mm, 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.

Os materiais de rochas silicáticas foram misturados manual e individualmente aos solos em sacos de plástico, e a mistura transferida imediatamente para vaso. Em seguida, efetuou-se a irrigação até aproximadamente 70% da capacidade máxima de retenção de água. A mistura de solo, rocha e calcário foi incubada por um período de 18 dias para depois proceder-se à semeadura 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. O experimento foi conduzido até a fase de maturação do arroz, aproximadamente 120 dias.

Na maturação determinaram-se a produtividade de grãos por planta e ajustado para 0,13g de H₂O g⁻¹ de peso fresco, o número de panículas e a percentagem de perfilhos produtivos (nº panículas na maturação/nº perfilhos máximo na iniciação da panícula-IP).

Experimento 3

Neste experimento, avaliaram-se os efeitos de diferentes proporções entre três materiais de rochas silicáticas com granulometria <0,3mm e KCl sobre a produtividade de grãos, número de panículas e percentagem de perfilhos

produtivos (nº panículas na maturação/nº perfilhos máximo na iniciação da panícula-IP). A dose aplicada de K_2O correspondeu a 300 kg ha⁻¹ de K_2O e foi calculada com base no teor de K_2O total de cada rocha. Análise litogeoquímica de elementos maiores e menores constam da Tabela 3. 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.

Tabela 3. Análise litogeoquímica de elementos maiores (%) e menores (ppm) em rochas silicáticas com diâmetro de partícula <0,3mm.

<i>Rochas¹</i>	<i>SiO₂</i>	<i>Al₂O₃</i>	<i>Fe₂O₃</i>	<i>MnO</i>	<i>TiO₂</i>	<i>K₂O</i>	<i>Na₂O</i>	<i>P₂O₅</i>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	<i>Total</i>
----- % -----											
Brecha	41,87	11,35	11,74	1,25	3,98	2,73	1,25	0,83	12,64	6,19	101,4
Ultramáfica	35,52	7,83	11,77	1,74	1,98	3,44	1,74	0,69	12,49	18,92	99,26
Flogopitita	44,98	9,77	8,68	0,15	0,29	5,77	0,20	0,10	4,63	17,29	91,86
Biotita	51,95	8,60	9,88	1,23	0,27	4,25	1,23	0,06	6,33	14,92	99,94
----- ppm -----											
	<i>Zn</i>	<i>Cu</i>	<i>Co</i>	<i>Ni</i>	<i>Cr</i>	<i>V</i>	<i>Be</i>	<i>Ba</i>	<i>Sr</i>	<i>Zr</i>	<i>N</i>
Brecha	151	75	173	147	110	430	3,55	2574	866	381	127
Ultramáfica	124	84	170	499	683	175	2,03	2510	1126	319	129
Flogopitita	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Biotita	416	20	171	306,5	1710	72	52,4	107	1,0	71	19

¹As rochas silicáticas foram analisadas pelo Setor de Análise Química de Materiais do laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral da Universidade Federal da Bahia (UFBA). As amostras são dissolvidas por digestão ácida em sistema fechado (Método de Bernas) e as determinações feitas por ICP-AES.

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

Resultados e Discussão

Experimento 1 - Os efeitos das rochas silicáticas sobre o teor de K trocável no solo argiloso estão apresentados na Tabela 4. A disponibilidade de K variou com a rocha silicática utilizada e o tempo de incubação. Apesar de não ter 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.

Tabela 4. Teores de K trocável em mg dm^{-3} no solo de textura argila, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas (pó de rocha).

Rocha silicática	Granulometria (mm)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito Vulcânico	0,85	41 ¹	35	48	56	56	51
	0,35	41	37	48	56	58	51
	0,25	41	38	49	60	55	53
	Média	41	37	48	57	56	52
Ultramáfica Alcalina	0,85	50	49	61	76	77	88
	0,35	68	64	72	88	82	65
	0,25	74	64	62	84	80	63
	Média	64	59	65	83	80	72
Biotita Xisto	0,85	41	40	40	88	62	54
	0,35	42	40	40	62	56	54
	0,25	47	49	46	63	59	56
	Média	43	43	42	71	59	55
Brecha Alcalina	0,85	53	55	68	87	78	72
	0,35	59	61	69	80	84	77
	0,25	56	56	32	78	75	72
	Média	56	57	66	82	79	74
Carbonatito	0,85	42	37	47	55	61	53
	0,35	41	40	46	61	58	54
	0,25	41	42	46	57	62	58
	Média	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.

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 0,35 e 0,25mm foram as que resultaram nas maiores quantidades de K trocável no 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 4). Apesar de as 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 5). 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 5), à semelhança do que ocorreu no solo argiloso.

Tabela 5. Teores de K trocável em mg dm⁻³ no solo de textura franca arenosa, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas (Pó de rocha).

<i>Rocha silicática</i>	<i>Granulometria (mm)</i>	<i>Tempo de incubação, dias</i>					
		<i>0</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>90</i>	<i>120</i>	<i>180</i>
Arenito Vulcânico	0,85	15 ⁽¹⁾	15	15	18	20	19
	0,35	17	16	15	18	18	19
	0,25	15	16	15	18	19	19
	Média	16	16	15	18	19	19
Ultramáfica Alcalina	0,85	29	31	30	55	52	50
	0,35	37	41	39	63	58	51
	0,25	50	44	32	55	50	50
	Média	39	38	34	58	53	50
Biotita Xisto	0,85	18	18	19	27	26	27
	0,35	19	22	20	28	30	32
	0,25	26	25	29	36	38	37
	Média	21	22	23	30	31	32
Brecha Alcalina	0,85	23	25	34	32	35	35
	0,35	26	29	32	41	37	46
	0,25	39	37	53	69	58	39
	Média	29	30	40	47	43	40
Carbonatito	0,85	16	17	17	42	42	45
	0,35	17	16	16	35	39	41
	0,25	18	23	25	30	43	42
	Média	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.

Fato interessante ainda pode ser observado nas Tabelas 4 e 5 em relação aos efeitos da granulometria nos teores de K determinados, tanto no solo de textura argila como no franca arenosa, 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) o pó passa a não conter a flogopitita ou a biotita, que são os minerais desejáveis quanto ao teor e liberação de K para o solo.

Efeito da adição de rochas e da granulometria nos valores de pH dos solos de textura argila e franca arenosa estão apresentados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente, e das rochas silicáticas (média das granulometrias) na Figura 1. Para todas as rochas silicáticas, o pH foi mais elevado no solo de textura franca arenosa, como era de se esperar, devido ao seu menor efeito tampão em comparação ao solo de textura argila, que possui maior teor de matéria orgânica e de argila (Tabela 1). Conforme se observa na Tabela 6, as diferentes rochas e as frações granulométricas não influíram no pH do solo de textura argila, 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.

Tabela 6. Variações do pH em H₂O do Latossolo Vermelho distroférrico textura argila, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas (Pó de rocha).

Rocha silicática	Granulometria (mm)	Tempo de incubação, dias					
		0	15	30	90	120	180
Arenito Vulcânico	0,85	6(1)	5,4	4,9	4,5	4,3	4,8
	0,35	6,0	5,5	5,2	4,2	4,3	4,5
	0,25	5,9	5,4	5,0	4,3	4,3	5,0
	Média	6,0	5,4	5,0	4,3	4,3	4,8
Ultramáfica Alcalina	0,85	5,8	5,7	5,3	4,1	4,2	4,8
	0,35	5,7	5,7	5,3	4,2	4,4	5,1
	0,25	5,9	5,6	5,1	4,0	4,6	4,7
	Média	5,8	5,7	5,2	4,1	4,4	4,9
Biotita Xisto	0,85	5,8	5,7	5,3	3,9	4,1	4,3
	0,35	5,7	5,7	5,4	3,8	3,9	4,2
	0,25	5,6	5,7	5,4	3,9	4,0	4,2
	Média	5,7	5,7	5,4	3,9	4,0	4,2
Brecha Alcalina	0,85	5,6	5,7	5,4	3,9	4,1	4,2
	0,35	5,7	5,7	5,3	4,0	4,0	4,3
	0,25	5,7	5,7	5,3	3,8	4,0	4,2
	Média	5,7	5,7	5,3	3,9	4,0	4,2
Carbonatito	0,85	5,6	5,5	5,1	4,4	4,7	4,8
	0,35	5,7	5,7	5,3	4,4	4,6	4,8
	0,25	6,1	5,6	5,2	4,8	4,9	5,2
	Média	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	4,8	4,6	4,6

(1) Representa média de três repetições.

Tabela 7. Variações do pH em H₂O do Latossolo Amarelo distroférico textura franca arenosa, em função do tempo de incubação de três frações granulométricas de rochas silicáticas (Pó de rocha).

<i>Rocha silicática</i>	<i>Granulometria (mm)</i>	<i>Tempo de incubação, dias</i>					
		<i>0</i>	<i>15</i>	<i>30</i>	<i>90</i>	<i>120</i>	<i>180</i>
Arenito Vulcânico	0,85	6,2 ⁽¹⁾	6,3	6,3	6,0	6,1	5,7
	0,35	6,1	6,1	6,0	5,8	5,6	5,6
	0,25	6,5	6,7	6,6	6,4	6,2	5,7
	Média	6,3	6,4	6,3	6,1	6,0	5,7
Ultramáfica Alcalina	0,85	5,4	5,4	5,3	5,2	5,2	5,3
	0,35	5,5	5,6	5,3	5,6	5,5	5,2
	0,25	5,9	5,9	5,4	5,6	5,6	5,6
	Média	5,6	5,6	5,3	5,5	5,4	5,4
Biotita Xisto	0,85	5,2	5,0	4,7	4,7	4,6	4,7
	0,35	5,2	5,1	4,7	4,6	4,5	4,8
	0,25	5,3	5,1	4,8	4,8	4,7	4,8
	Média	5,2	5,1	4,7	4,7	4,6	4,8
Brecha Alcalina	0,85	5,2	5,0	4,8	4,8	4,7	4,7
	0,35	5,2	5,2	4,8	4,8	4,6	4,8
	0,25	5,4	5,1	5,0	4,8	4,8	4,9
	Média	5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	4,8
Carbonatito	0,85	5,3	5,1	4,9	4,8	5,5	6,1
	0,35	5,4	5,4	5,4	5,8	5,9	6,8
	0,25	5,5	5,7	5,8	5,9	6,3	6,9
	Média	5,5	6,0	6,0	5,9	5,9	6,6
KCl	-	4,9	4,5	4,5	4,5	4,5	4,6
Test. (-K)	-	5,3	5,1	4,9	4,7	4,9	4,6

⁽¹⁾ Representa média de três repetições.

Analisando os dados da Tabela 7, constata-se que o pH do solo de textura franca arenosa 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 do solo de textura franca arenosa com o tempo de incubação, houve para as demais uma diminuição do pH com o decorrer do tempo. O carbonatito foi o 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.

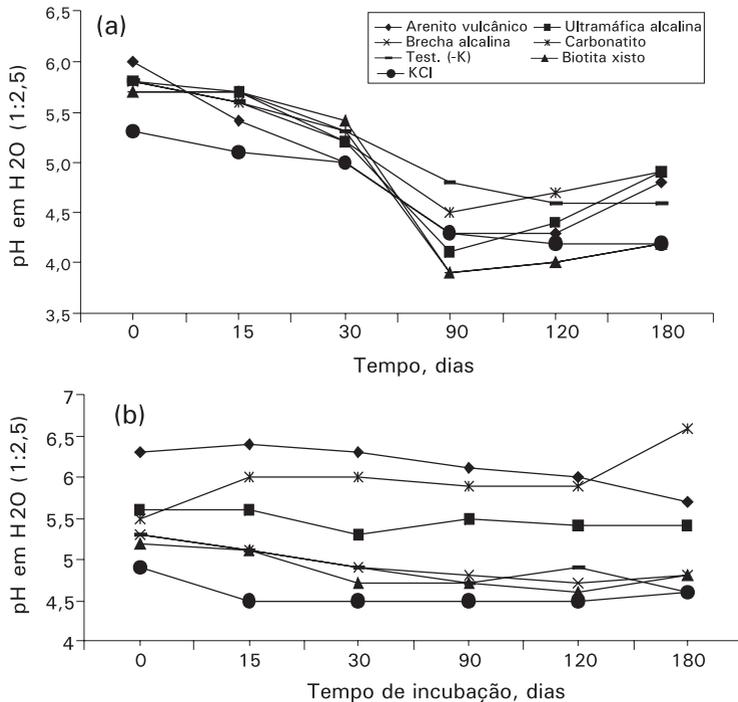


Fig. 1. Variações do pH em H₂O do Latossolo Vermelho distroférico textura argila (a) e do Latossolo Amarelo distroférico textura franca arenosa (b), em função do tempo de incubação das rochas silicáticas com os solos (média das três granulometrias).

A eficiência relativa das frações granulométricas não apresentou resultados consistentes nos dois solos estudados e no tempo de contato de 90 dias (Tabela 8). No entanto, considerando a média das frações granulométricas, observa-se que a eficiência relativa de todas as rochas silicáticas foi maior no solo de textura argila 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 retidos fortemente no solo, tornando o K menos disponível pelo extrator de Melnich-1.

Tabela 8. Eficiência relativa (%) das diferentes frações granulométricas das rochas silicáticas, considerando os dois solos e o tempo de incubação de 90 dias (eficiência do KCl = 100%).

<i>Rocha silicática</i>	<i>Granulometria (mm)</i>	<i>Tempo de incubação, dias</i>	
		<i>Latossolo Vermelho distroférico (Argila)</i>	<i>Latossolo Amarelo distroférico (Franco arenoso)</i>
Arenito Vulcânico	0,85	32 ⁽¹⁾	11
	0,35	32	11
	0,25	34	11
	Média	32	11
Ultramáfica Alcalina	0,85	43	33
	0,35	48	38
	0,25	47	33
	Média	47	35
Biotita Xisto	0,85	48	16
	0,35	25	17
	0,25	36	22
	Média	40	18
Brecha Alcalina	0,85	49	19
	0,35	45	25
	0,25	44	42
	Média	46	29
Carbonatito	0,85	31	25
	0,35	34	21
	0,25	32	18
	Média	33	22
KCl	-	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 2) 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 a 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 tempo 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 o ponto máximo de produtividade de grãos, como ocorreu para o KCl (Figura 2). 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.

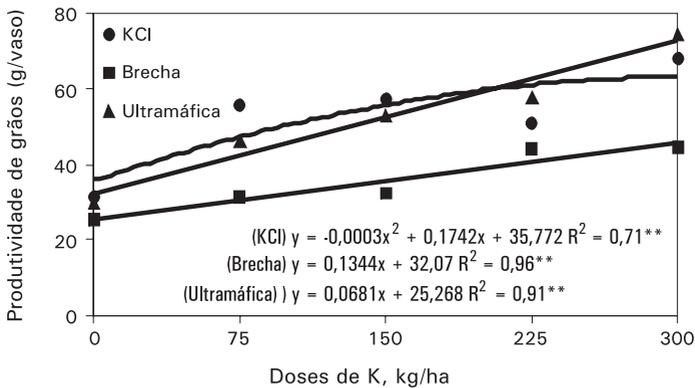


Fig. 2. Efeito da interação entre fontes/rochas silicáticas e doses de K na produtividade de de grãos do arroz de terras altas.

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, independentemente da fonte. A análise de regressão mostrou uma relação linear significativa entre as doses de K e PMMS (Figura 3). Ressalta-se a semelhança de comportamento da ultramáfica alcalina em relação ao KCl comercial, o que a torna como fonte promissora de K (Figura 4).

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 aplicaram 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-K.

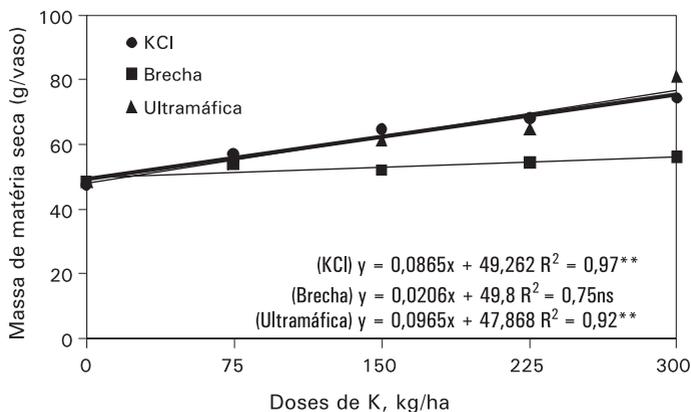


Fig. 3. Efeito da interação entre fontes/rochas silicáticas e doses de K na produção de massa de matéria seca do arroz de terras altas.



Fig. 4. Foto comparativa mostrando o efeito da brecha alcalina, ultramáfica alcalina e da flogopitita em relação ao KCl e à testemunha.

A aplicação de KCl comercial determinou aumento significativo ($P < 0,01$) para a produtividade do arroz. Observe que as produtividades 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 se avaliaram diferentes doses de K e suas interações com fontes de rocha-K (Tabela 9).

Tabela 9. Produtividade de grãos de arroz, produção de massa de matéria seca, nº de panículas por planta e percentagem de perfilhos produtivos, em função da mistura de rocha silicática e KCl em diferentes proporções (média de seis repetições).

Tratamento	Rocha silicática			Média
	Ultramáfica alcalina	Brecha alcalina	Flogopítica	
Produtividade de grãos, g vaso¹				
Test. (-K)	27,28c ²	27,28c	27,28b	27,28d
100%rocha + 0%KCl	84,65a	76,29a	72,93a	77,96 ^a
75%rocha + 25%KCl ¹	78,06ab	62,44b	62,39a	67,63b
50%rocha + 50%KCl	82,59a	75,60a	71,15a	76,45 ^a
25%rocha + 75%KCl	82,52a	71,65ab	72,41a	75,53 ^a
0% rocha + 100%KCl	69,50b	38,23c	37,89b	48,54c
Média	70,77A	58,58B	57,34B	-
CV (%)	-	-	-	10,56
F	66,916***	62,173***	54,499***	5,304***
Produção de massa de matéria seca, g vaso¹				
Test. (-K)	49,61c	49,61c	49,61c	49,61d
100%rocha + 0%KCl	78,22b	55,38c	54,45c	62,68c
75%rocha + 25%KCl 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	78,14A	68,77B	67,79B	-
CV (%)	-	-	-	7,71
F	40,896***	35,836***	32,152***	4,564***
Nº de panículas planta¹				
Test. (-K)	6,6b	6,6c	6,6b	6,6c
100%rocha + 0%KCl	8,6a	7,0bc	7,1ab	7,6b
75%rocha + 25%KCl 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	8,4A	7,6B	7,6B	-
CV (%)	-	-	-	NS
F p/ trat.	-	-	-	-
F p/ fontes	13,878***	-	-	-
	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 + 25%KCl 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	84,3	83,2	85,0	-
CV (%)	-	-	-	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%. Letras maiúsculas comparam médias na linha e minúsculas na coluna. 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

1. 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.
2. As rochas silicáticas de arenito e carbonatito, por terem mais carbonatos na sua composição, promoveram maiores aumentos de pH da mistura solo/rocha, mas apenas para o solo arenoso.
3. A eficiência relativa ao KCl das rochas silicáticas variou de 25% a 48%.
4. 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 à produção de massa de matéria seca.
5. Entre as rochas silicáticas estudadas, a ultramáfica alcalina mostrou-se nos dois experimentos superior à brecha alcalina e a flogopita, não se diferenciando do KCl comercial como fonte de K para o arroz de terras altas.
6. 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 percentagem de perfilhos produtivos não foi influenciada pelos tratamentos e interações.

Referências Bibliográficas

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

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

LOPES, A. S. Reservas de minerais potássicos e produção de fertilizantes potássicos no Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE POTÁSSIO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2004, São Pedro. **Potássio na agricultura brasileira: anais**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 2005. p. 21-32.

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