

RESERVA MINERAL DE POTÁSSIO EM SOLOS DOS CAMPOS GERAIS, ESTADO DO PARANÁ¹

Roberto Martins²
Vander de Freitas Melo³
Beatriz Monte Serrat³

RESUMO

Este trabalho foi realizado em solos localizados nos Campos Gerais, Estado do Paraná, visando caracterizar os minerais nas frações areia, silte e argila e avaliar, por diferentes métodos de extração, a reserva de K dos perfis de solos. O principal critério na seleção dos dez perfis foi a geologia do local, sendo contemplados os seguintes materiais de origem: granito (perfil 1), embrechito (perfil 2), arenito (perfil 3), siltito/arcósio (perfil 4), micaxisto (perfis 5 e 6), riolito (perfil 7), diabásio (perfis 8 e 9) e conglomerado (perfil 10). Nestas unidades, coletaram-se amostras de solo da camada superficial (0-40 cm) para a realização das análises químicas, físicas e mineralógicas. Com o propósito de avaliar a reserva mineral em relação ao grau de intemperismo, no diabásio e micaxisto, selecionaram-se diferentes classes de solo (Nitossolo, Cambissolo e Latossolo). Avaliou-se a reserva mineral dos solos por meio da digestão das amostras com HF, HNO₃ e H₂SO₄ concentrados (K total), extração com NaHSO₄ (K estrutural presente na mica) e tratamentos com concentrações crescentes de HNO₃ fervente (K não-trocável). A fração argila dos solos foi essencialmente caulínica, e as frações areia e silte foram constituídas predominantemente por quartzo. Contudo, mesmo em solos altamente intemperizados, detectou-se mica na fração argila. A reserva de K nos solos foi determinada pelo material de origem e estágio de desenvolvimento, sendo mais expressiva nos Cambissolos, principalmente nos originados de micaxisto e conglomerado. Com base nas extrações com ácido nítrico fervente em diferentes concentrações, estabeleceu-se a seguinte seqüência crescente de potencial dos perfis de solos de liberação de formas não-trocáveis de K para as plantas: 1, 2, 5, 4, 7, 3, 9, 10, 8 e 6.

Palavras-chave: difratometria de raios-X, ácido nítrico fervente, mica, feldspato.

¹ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor. Aceito para publicação em 20.02.2004.

² Universidade Federal do Paraná/UFPR. E-mail: martinsbeto@ig.com.br

³ Departamento de Solos. Universidade Federal do Paraná/PFPR. Rua dos Funcionários, 1.540. 80035-050, Curitiba, PR. E-mail: vanderfm@ufpr.br

ABSTRACT

POTASSIUM MINERAL RESERVE IN SOILS OF CAMPOS GERAIS, PARANÁ, BRAZIL

This work was carried out in soils of Campos Gerais, Paraná, Brazil, to characterize the minerals in the sand, silt and clay fractions of the soils and to evaluate the K reserve of selected profiles by different extraction methods. The principal criterium used in the selection of ten profiles was the local geology, with the following origin materials being used: granite (profile 1), embrechite (profile 2), sandstone (profile 3), siltstone (profile 4), mica-rich rock (profiles 5 and 6), riolite (profile 7), diabase (profiles 8 and 9) and conglomerate (profile 10). Samples of superficial soil layer (0 to 40 cm) were collected for the chemical, physical and mineralogical analysis. Different soil classes were selected to evaluate the mineral reserve in relation to the weathering degree, in the diabase and mica-rich rock. The mineral reserve of the soils was determined by the HF digestion (total K), extraction with NaHSO₄ (structural K present in the mica) and treatments with increasing concentrations of boiling HNO₃ (non-exchangeable K). The clay fraction of the soils was essentially constituted by kaolinite and the sand and silt fractions basically by quartz. Even in the highly weathered soils, mica was identified in the clay fraction. The K reserve in the soils was defined by parent material and development degree, being more expressive in Cambisol, mainly for those originated by mica-rich rock and conglomerate. Taking into account the K contents extracted by boiling nitric acid, at different concentrations, the following increasing sequence of potential profiles of non-exchangeable K release for the plants was established: 1, 2, 5, 4, 7, 3, 9, 10, 8 and 6.

Key words: X-ray diffraction, boiling nitric acid, mica, feldspar.

INTRODUÇÃO

O estudo da reserva de K, tendo em vista o conteúdo e a espécie mineral no solo, e da taxa de liberação do nutriente pelos minerais é de extrema importância, pois influencia no suprimento de K para as plantas. A caracterização mineralógica do solo possibilita avaliar essa reserva, indicando a capacidade dos minerais primários, fontes de K, em repor o nutriente para a solução do solo, assim como prever as reações de troca e fixação de K governadas pelos minerais secundários (11).

O teor médio de K no solo varia de acordo com o material de origem, perdas que tenha sofrido e adições efetuadas, sendo encontrada a maior quantidade deste nutriente nos minerais primários, principalmente nas micas (muscovita, 70 a 110 g kg⁻¹ de K₂O; e biotita, 60 a 100 g kg⁻¹ de K₂O) e feldspatos (ortoclásio, microclina e sanidina – 40 a 150 g kg⁻¹ de K₂O) (8, 15, 28). Nas micas, este nutriente encontra-se entre as unidades cristalinas formadas pelas camadas de tetraedros de silício e octaedros de alumínio. Nos feldspatos, está nos interstícios da grade cristalina, sendo retido por fortes ligações covalentes (19).

O K nestes minerais primários é considerado estrutural, e sua liberação envolve relações de dissolução da estrutura cristalina. As demais formas de K no solo são: não-trocável ou fixado, que está retido entre camadas tetraédricas de minerais de argila 2:1 (poros ditrigonais) com maior densidade de carga negativa permanente (25), ocorrendo, por exemplo, nas vermiculitas e minerais interestratificados (26); trocável, ligado ao complexo de troca (sítios de adsorção não-específica) de minerais silicatados com menor densidade de carga negativa permanente, como a esmectita, e minerais com carga dependente de pH, como a caulinita e óxidos de ferro e alumínio; e solução do solo, que constitui a forma prontamente disponível para as plantas e sujeita à lixiviação. Segundo Prasad e Power (19), tem-se a seguinte distribuição média do K total dos solos: estrutural – 92 a 97%; não-trocável ou fixado – 2 a 7,5%; e disponível (trocável e solução) – 0,1 a 2%. O K prontamente disponível para as plantas é determinado por diferentes métodos de rotina, por exemplo, Mehlich-1 e acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (17). Já a extração do K total do solo envolve reações de dissolução de minerais e fração orgânica, sendo o método mais utilizado a digestão com HF, HCO₄, HNO₃ e H₂SO₄ concentrados (9).

O equilíbrio entre as formas de K no solo define a disponibilidade do nutriente para as plantas (10, 21). O processo de conversão de K trocável e solução do solo em K não-trocável denomina-se fixação, e o oposto é a liberação (28). A capacidade de determinado solo fixar e liberar K varia de acordo com inúmeros fatores, como qualidade e quantidade dos colóides no solo, concentração de K na solução, pH do solo, cátions e ciclos de umedecimento e secagem.

Em relação aos minerais secundários nos solos desenvolvidos em condições tropicais úmidas, o principal é a caulinita (13), com baixos teores de minerais primários fontes de K (micas e feldspatos). Tem sido postulada a presença de cargas negativas permanentes na caulinita (26), as quais teriam importância na retenção de K entre suas camadas. Contudo, a mais provável fonte de K não-trocável na caulinita são as camadas de mica preservadas no interior do mineral (13). Estas camadas oclusas de mica devem ser mais frequentes nos flocos de caulinita pseudomorfa de biotita nas frações areia e silte de solos (12). Portanto, mesmo sendo um mineral secundário, a caulinita representa importante fonte do K total, principalmente na fração argila destes solos (14, 15).

O objetivo deste trabalho foi caracterizar os minerais nas frações areia, silte e argila e avaliar, por diferentes métodos de extração, a reserva de K nos solos.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição geral da área

O estudo foi realizado em solos do Estado do Paraná distribuídos entre as coordenadas geográficas de 24° 30' a 25° 00' de latitude sul e 49° 45' a 50° 15' de longitude oeste, região fisiográfica dos Campos Gerais, situados nas litologias que compõem o grupo Castro, representadas nas

quadrículas de Castro, Colônia Iapó, Piraí do Sul e Abapã. A litologia da região é bastante complexa, com diferentes materiais de origem, variando desde rochas ígneas, metamórficas e sedimentares até sedimentos pouco consolidados do Quaternário (Quadro 1). O clima da região é predominantemente temperado, mesotérmico, com verões amenos e geadas severas e freqüentes, e a precipitação média anual é de, aproximadamente, 1.500 mm (7).

Amostragem dos solos

O principal critério na amostragem dos solos foi o material de origem, mas também se levaram em consideração a topografia, textura e profundidade, o que resultou em diferentes classes de solos (Quadro 1). Para verificar a relação entre a reserva mineral e o grau de intemperismo do solo, no micaxisto e no diabásio foram amostrados solos com diferentes estádios de desenvolvimento (Cambissolo, Nitossolo e Latossolo), perfazendo dez coletas.

QUADRO 1 – Profundidade de horizontes, análise granulométrica e material de origem dos perfis selecionados							
Perfil	Classe de solo ⁽¹⁾	Horiz.	Prof. de amostragem cm	Litologia ⁽²⁾	Textura ⁽³⁾		
					Areia	Silte	Argila
					—g kg ⁻¹ —		
1	Cambissolo Háplico	A	0 – 30	Granito (Gr)	508	131	361
		AB	30 – 40+				
2	Latossolo Bruno	A	0 – 26	Embrechito	152	217	631
		AB	26 – 36	(Em)			
		B	36 – 40+				
3	Neossolo Litólico	A	0 – 40+	Arenito (Ar)	716	114	170
4	Cambissolo Háplico	A	0 – 25	Argilito/Siltito/	355	165	480
		AB	25 – 35	Arcósio			
		B	35 – 40+	(Si/Arc)			
5	Nitossolo Háplico	A	0 – 40	Micaxisto (Mi)	338	135	527
6	Cambissolo Háplico	A	0 – 12	Micaxisto (Mi)	477	215	308
		B	12 – 40+				
7	Latossolo Bruno	A	0 – 40+	Riolito (Ri)	232	182	586
8	Cambissolo Háplico	A	0 – 35	Dique	218	222	559
		B	35 – 40+	Diabásio (Di)			
9	Latossolo Vermelho	A	0 – 35	Dique	88	126	786
		B	35 – 40+	Diabásio (Di)			
10	Cambissolo Háplico	A	0 – 18	Conglome-	643	98	259
		AB	18 – 30	rado (Co)			
		B	30 – 40+				

⁽¹⁾ As características das diferentes unidades de solo incluídas na amostragem estão descritas pela EMBRAPA (3).

⁽²⁾ Litologias do Grupo Castro com diferentes composições mineralógicas. Riolitos e outras rochas da seqüência vulcânica ácida são essencialmente compostos por quartzo, feldspatos alcalinos (ortoclásio e sanidina), sericita e vidro vulcânico. Granito Cunhaporanga com quartzo, microclínio, oligoclásio, hornblenda e biotita. Arenitos estratificados em finas camadas de siltito e argilito com elevada quantidade de minerais micáceos. Conglomerados com matriz arenosa e grosseira (fragmentos de rocha), feldspática e lítica (5).

⁽³⁾ Amostra de 0 a 40 cm (3).

Para cada unidade amostrada, procurando eliminar a interferência de possíveis adubações, visto que o K é um nutriente com alta mobilidade, o solo foi coletado em áreas onde não ocorreram intervenções antrópicas. Para tal, foram abertas trincheiras coletando e misturando os horizontes compreendidos entre 0 e 40 cm de profundidade (Quadro 1), onde se verifica maior crescimento e distribuição radicular, aproximando-se assim, das condições de campo onde os nutrientes das camadas mais superficiais são mais importantes para a nutrição das plantas.

Análise textural

A análise textural foi feita pelo método da pipeta, retendo-se a fração areia por tamização e separando as frações argila e silte por sedimentação, de acordo com a Lei de Stokes (2).

Determinação de diferentes formas de K no solo

Para estimar a reserva e as diferentes formas de K no solo, as análises químicas foram feitas na terra fina seca ao ar (TFSA), e o K extraído por diferentes métodos foi determinado por fotometria de emissão de chama.

Na avaliação dos teores de K trocável no solo, utilizaram-se os extratores de Mehlich-1 (HCl 0,05 N + H₂SO₄ 0,025 N) (17) e o acetato de amônio 1 mol L⁻¹ (1). A extração de K não-trocável foi realizada pelo método do HNO₃ fervente (20), sendo utilizadas concentrações crescentes deste ácido: 0,25N; 0,5N; 1,0N; 2,0N e 4,0N (11).

Por meio do tratamento do solo com NaHSO₄ (cristais) foi possível determinar o K estrutural liberado pela remoção da mica, verificando, assim, a importância do intemperismo deste mineral na dinâmica do K no solo. A utilização de cadinhos de sílica vítrea (quartzo fundido) com tampas em rosca, proposta por Jackson et al. (9), aquecidos em bico de burner, foi substituída por béqueres de teflon em sistema aberto em banho de areia (14, 15). Segundo os primeiros autores, seria importante manter o sistema fechado para reduzir a perda de SO₃, prolongando a fusão e evitando o acúmulo de Na₂SO₄ (reações 1 e 2).



Os resultados apresentados por Melo et al. (16) confirmam a ineficiência do método em sistema aberto na extração de mica, principalmente daquelas bem cristalinas e em amostras com alto teor do mineral. Contudo, para o objetivo deste trabalho, considerou-se mais

adequada a extração apenas parcial dos minerais micáceos, pois o método realizado em sistema aberto extrai preferencialmente as partículas menores e de pior cristalinidade, ou seja, partículas mais fáceis de intemperizar e liberar K, o que representa uma reserva mais efetiva e a curto prazo do nutriente para as plantas.

Com o propósito de estimar os teores de minerais micáceos da fração argila com maior facilidade de liberar formas estruturais de K para as plantas, submeteram-se também amostras dessa fração ao tratamento com NaHSO₄ (cristais) em sistema aberto.

Para determinar os teores totais de K na TFSA utilizou-se o método da digestão com HF, HNO₃ e H₂SO₄ concentrados, apresentado por Jackson et al. (9), com adaptações propostas por Melo et al. (12).

Análises mineralógicas

Inicialmente, as amostras de TFSA foram tratadas com peróxido de hidrogênio, para remoção de matéria orgânica, e com NaOH 0,2 mol L⁻¹, para dispersão das partículas (8). Após esses tratamentos prévios, a fração areia foi retida em peneira de 0,05 mm, e as frações argila e silte foram recolhidas em provetas de 1.000 mL e separadas por sedimentação com base na lei de Stokes (6).

A identificação dos minerais nas frações areia, silte e argila foi feita por difratometria de raios-X (DRX), sendo a velocidade do goniômetro de 1° 2θ/minuto, com amplitude de 4 a 65° 2θ. O difratômetro, equipado com tubo de cobre e utilizando radiação de CuK ∞ , foi operado a 40 kV e 20 mA, em todas as análises. Foram realizados tratamentos adicionais na fração argila para diferenciação dos minerais do tipo 2:1, conforme recomendações apresentadas por Whittig e Allardice (29).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização geral dos perfis de solo

Os perfis 6 e 10, além de serem originados de micaxisto e conglomerados, rochas consideradas ricas mineralogicamente (5), apresentaram solos mais jovens com participação mais expressiva do horizonte B até a profundidade de 40 cm (Quadro 1), indicando maior reserva de K. Devido ao maior grau de intemperismo do horizonte A, maiores contribuições de formas não-trocáveis de K na nutrição das plantas serão provenientes das camadas mais profundas, como verificado por Melo et al. (11).

A textura do solo, associada à qualidade mineralógica das frações areia, silte e argila, determina a sua reserva mineral. Em geral, a fração argila foi a principal constituinte dos solos estudados (Quadro 1). Os menores teores desta fração foram encontrados nos solos mais jovens e naqueles desenvolvidos de sedimentos mais grosseiros (perfis 3 e 10). Os elevados teores de argila nos solos mais intemperizados são de extrema importância, visto que a fração areia destes solos é constituída, normalmente, de quartzo, com baixa reserva de nutrientes. Espera-se que o intemperismo e, conseqüentemente, a liberação do K seja mais rápida em partículas mais finas, em virtude da maior superfície específica dos minerais e da menor distância em que os íons devem difundir. Tributh et al. (27), avaliando o efeito da redução de K na solução do solo sobre o intemperismo de mica, após três anos de cultivo, encontraram diminuição no tamanho do pico da illita nos difratogramas de raios-X, em detrimento do aumento no pico da esmectita, indicando a transformação dessas formas no solo com o período de cultivo, transformação que foi maior na porção mais fina da fração argila ($< 0,06 \mu\text{m}$).

Caracterização mineralógica das frações do solo

Com a caracterização mineralógica das frações argila, silte e areia, evidenciaram-se minerais primários, como mica e feldspato-K (Quadro 2), que representam fontes potenciais de K, contribuindo com o suprimento deste nutriente para as plantas. A caulinita foi o principal mineral da fração argila dos solos estudados (Quadro 2). Este predomínio do mineral também foi observado em diversas classes de solos por vários autores (13). Com base nos teores de K extraído da fração argila pelo tratamento com NaHSO_4 em sistema aberto (14, 15) e considerando o teor médio de 100 g kg^{-1} de K_2O na mica (8), foram estimados os teores do mineral nas amostras, que variaram de 7 a 307 g kg^{-1} (Quadro 2), refletindo as diferenças mineralógicas dos materiais de origem e o estágio de intemperismo dos solos, sendo os maiores valores obtidos nos perfis 3 (Neossolo Litólico originado de arenito), 6 (Cambissolo Háptico originado de micaxisto) e 10 (Cambissolo Háptico originado de conglomerado). Mesmo sendo rochas sedimentares com predomínio de quartzo, o arenito e o conglomerado de origem dos perfis 3 e 10 apresentam estratificações ricas em minerais primários fontes de K (5). Por outro lado, nos perfis 2, 4, 5 e 8 os teores de K extraídos pelo NaHSO_4 foram baixos, concordando com o não-aparecimento de reflexão de mica (1,0 nm) nos difratogramas de raios-X (Quadro 2).

Diversos autores relatam a importância dos minerais micáceos nas frações mais finas do solo na liberação de formas não-trocáveis de K na

solução do solo, ao longo de cultivos, e sua importância na nutrição das plantas (23, 24, 27). Além disso, é importante ressaltar que a vermiculita com Al-hidroxi entre camadas, encontrada na fração argila da maioria dos solos estudados (Quadro 2), é determinante na dinâmica de K, devido à contribuição na CTC desses solos, evitando maiores perdas de K por lixiviação e tornando-o disponível às plantas ao longo do cultivo (22). As ilhas de Al-hidroxi entre as camadas 2:1 da vermiculita resultam numa maior resistência do mineral ao intemperismo, garantindo sua presença mesmo em alguns solos altamente intemperizados (11).

QUADRO 2 – Composição mineralógica das frações areia, silte e argila dos solos e teor de K extraído da fração argila pelo tratamento com NaHSO₄

Perfil	Mineral ⁽¹⁾			K mg kg ⁻¹	Mica ⁽²⁾ g kg ⁻¹
	Areia	Silte	Argila		
1	Qz, hm, gb, mi (traço)	Qz, ct, gb, hm	Ct, gb, gt, hm, vhe, mi (traço)	1.988	24,0
2	Qz, gb, ct, hm, im	Qz, ct, gb, hm	Ct, gb, gt, hm	605	7,3
3	Qz, mi	Qz, ct, mi	Ct, Gb, mi, vhe, gt, qz, imv	24.018	289,5
4	Qz, ct	Qz, ct, mi, gb, hm	Ct, gb, gt, hm, vhe, mi (traço)	6.286	75,8
5	Qz, hm, fd-K (traço)	Qz, ct, hm, mi (traço)	Ct, gb, gt, hm, vhe	2.432	29,3
6	Qz, fd-K	Qz, ct, gt, fd-K, hm, mi	Ct, mi, gt, qz, gb, vhe, imv	8.360	100,8
7	Qz, hm, mi (traço)	Qz, ct, hm, mi, cl	Ct, gb, qz, gt, mi (traço), cl (traço)	4013	48,4
8	Qz, ma, hm, im	Qz, ct, hm, im	Ct, gt, hm, vhe, gb (traço)	2.482	29,9
9	Qz, hm, ma (traço)	Qz, ct, il, hm	Ct, gb, qz, gt, hm, cl, mi (traço)	4.507	54,3
10	Qz, mi (traço), fd-K (traço)	Qz, mi, ct, fd-K	Ct, mi, fd-K, vhe, imv, gt, hm	25.500	307,3

⁽¹⁾Caracterização mineralógica por difratometria de raios-X (DRX). A primeira letra maiúscula indica o predomínio do mineral: qz-quartzo, mi-mica, im-ilmenita, fd-K-feldspato potássico, ma-magnetita, cl-clorita, ct-caulinita, gb-gibssita, gt-goethita, hm-hematita, vhe-vermiculita Al-hidroxi entre camadas, imv-interestratificado mica/VHE e il-ilita. O termo traço indica o aparecimento de apenas discretas reflexões do mineral por DRX.

⁽²⁾Teor de mica estimado na fração argila a partir do K extraído pelo NaHSO₄ e considerando uma concentração média de 100 g kg⁻¹ de K₂O no mineral.

O quartzo foi o mineral predominante nas frações silte e areia em todos os perfis (Quadro 2). Os solos mais jovens, originados de arenito, micaxisto e conglomerado, conforme observado na fração argila (perfis 3-Neossolo Litólico, 6-Cambissolo Háptico e 10-Cambissolo Háptico), também apresentaram reflexões características de minerais primários fontes de K (mica e feldspato-K). Nestas frações mais grosseiras, também se verificou a caulinita que, possivelmente, é pseudomorfa de mica ou está presente na forma de agregados bastante estáveis que resistiram à dispersão com NaOH 0,2 mol L⁻¹ (12). A importância desses agregados

como fontes de K estrutural pode ser significativa, principalmente em solos intemperizados com predomínio de quartzo nestas frações. Melo et al. (12), por meio de técnicas de microscopia eletrônica de varredura, encontraram um teor médio de K_2O nesses agregados de $5,1 \text{ g kg}^{-1}$. Pinto et al. (18) observaram caulinita na fração areia e silte em solos da Zona da Mata mineira e a denominaram pseudomorfa de mica, por se assemelhar muito ao mineral micáceo. Segundo os autores, a caulinita pode ser formada diretamente do intemperismo de biotita nas rochas, originando “flóculos de caulinita” do tamanho de areia e silte.

Estimativa da reserva de potássio

Os perfis 1, 2, 5, 7 e 8 apresentaram os menores teores de K, extraídos com HF, HNO_3 e H_2SO_4 concentrados (K total) (Quadro 3), atribuídos à pobreza em minerais primários, fontes do nutriente nas diferentes frações dos solos (Quadro 2). De maneira geral, nesses solos a camada de amostragem (0-40 cm) era constituída principalmente por horizontes superficiais (A e AB) (Quadro 1), o que contribuiu para menor reserva do nutriente. Melo et al. (11) observaram tendência muito clara de a reserva do nutriente aumentar com a profundidade do solo, concordando com o aumento nos teores de silte mais argila do horizonte superficial para o horizonte B.

A liberação de K total pode ser proveniente de minerais micáceos nas frações mais finas do solo, mesmo que em pequenas quantidades não detectadas por DRX. Melo et al. (15), por meio de técnicas seletivas de dissolução de minerais, observaram a presença de mica na fração argila de várias classes de Latossolos altamente intemperizados de diferentes regiões do Brasil. Outro fator que concorre para dificultar a detecção de minerais micáceos por DRX é o reduzido tamanho e baixo grau de cristalinidade das partículas (4).

QUADRO 3 – Teores de K na TFSA obtidos por diferentes métodos de extração nos perfis de solos selecionados

Perfil	Método de extração ⁽¹⁾								
	K-d	K-d'	K-1	K-2	K-3	K-4	K-5	K-6	K-t
	-----mg kg ⁻¹ -----								
1	23,4	21,2	14,6	15,6	20,5	26,4	45,9	555,2	1.496,1
2	39,1	36,7	20,5	22,5	23,4	36,2	51,8	456,4	801,1
3	50,8	48,1	46,9	71,4	195,6	841,3	1.115,2	4.161,4	4.872,0
4	82,1	79,2	53,8	63,5	72,3	135,0	1.085,9	3.766,2	4.375,5
5	46,9	39,8	33,2	34,2	35,2	48,9	70,4	1.543,2	1.992,6
6	54,7	55,4	55,7	225,9	841,3	1.663,1	2.025,0	4.754,2	22.374,3
7	89,9	90,5	62,6	72,3	187,8	802,2	1.115,2	1.938,4	2.886,2
8	136,8	142,3	131,0	184,9	242,6	860,9	1.262,0	1.691,4	2.389,7
9	121,2	111,2	82,1	161,4	195,6	782,6	1.115,2	3.173,4	4.276,2
10	66,4	69,9	52,8	62,6	211,3	802,2	1.144,6	11.225,6	14.106,0

⁽¹⁾ K-d = K disponível extraído com Mehlich-1; K-d' = K disponível extraído com acetato de amônio 1N; K-1, 2, 3, 4, 5 = K extraído com HNO_3 fervente nas concentrações de 0,25; 0,50; 1,00; 2,00 e 4,00 N, respectivamente; K-6 = K extraído com $NaHSO_4$; e K-t = K total extraído pela digestão com HF, HNO_3 e H_2SO_4 concentrados.

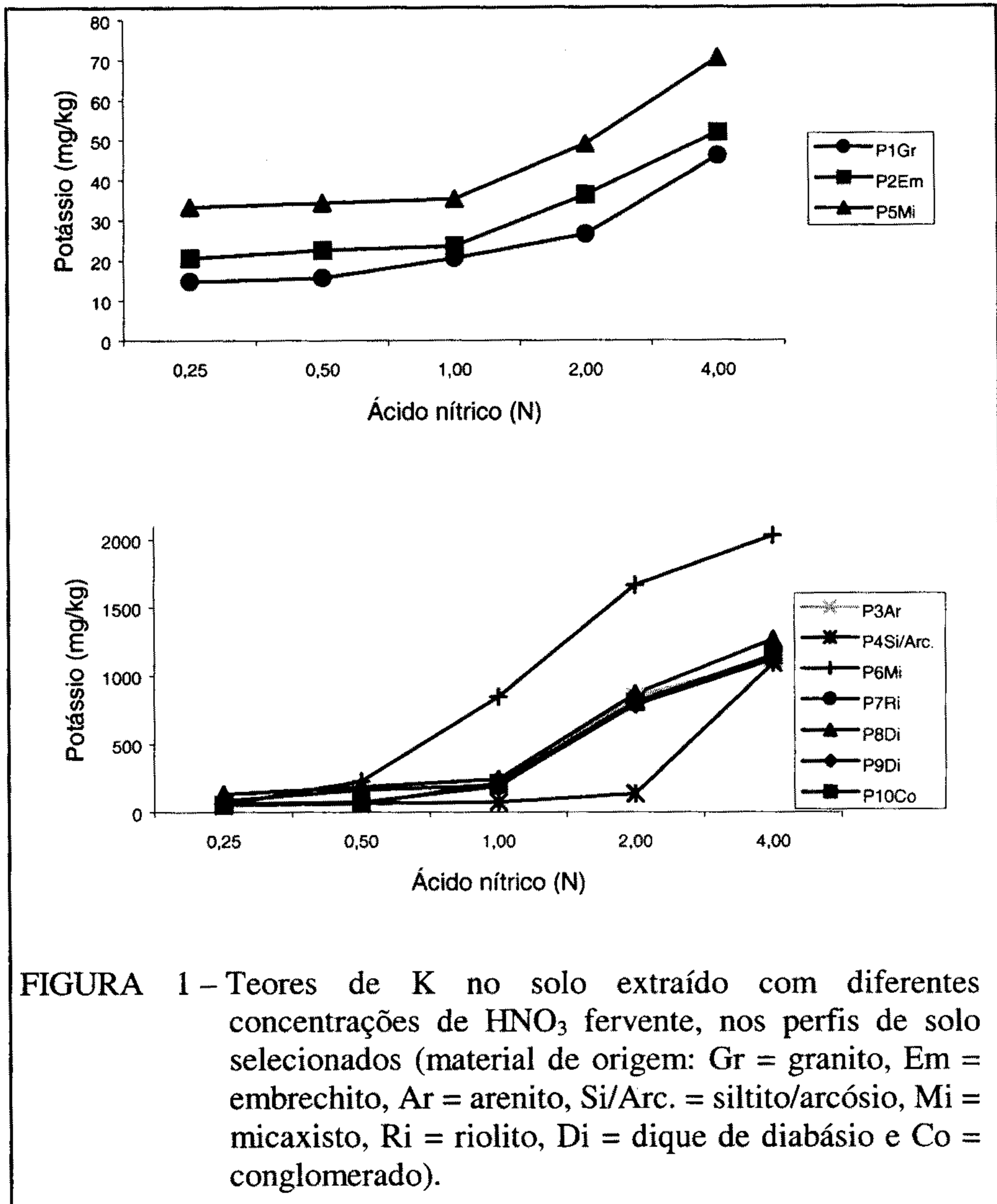
A proximidade dos valores de K extraídos pelos ácidos HF, HNO₃ e H₂SO₄ concentrados (K total) e pelo NaHSO₄ (Quadro 3) indica que, na maioria dos perfis, a liberação de formas estruturais do nutriente foi dependente dos minerais micáceos nas frações do solo. Os únicos minerais primários portadores de K estrutural que resistem ao tratamento com NaHSO₄ são os feldspatos-K (9), o que justifica, por exemplo, a grande diferença nos teores de K obtidos por estes dois métodos de extração no perfil 6 (Cambissolo Háplico) (Quadros 2 e 3).

Os efeitos do estágio de evolução dos solos e os horizontes amostrados até a profundidade de 40 cm ficam evidentes nos solos originados de Micaxisto, onde os teores de K total do perfil 6 (Cambissolo Háplico) foram muito superiores aos do perfil 5 (Nitossolo Háplico) (Quadro 3). O solo do perfil 5 é mais evoluído, e a coleta limitou-se apenas ao horizonte A (Quadro 1). Nos solos desenvolvidos de diabásio ocorreu inversão nos teores do nutriente em que apenas o K total foi superior no solo mais desenvolvido (perfil 9-Latossolo Vermelho), que pode ser atribuído a diferenças locais na rocha de origem, o que levou à maior presença de mica na fração argila desse solo (Quadro 2). Outro fator é o maior teor de argila no solo mais evoluído (Quadro 1).

O método de extração com HNO₃ 1N fervente é o mais adequado para estimar a quantidade de K não-trocável do solo e apresenta as melhores correlações com a absorção desta forma do nutriente pelas plantas (11). O HNO₃ fervente em baixas concentrações é um extrator mais brando, envolvendo reações de troca de cátions. Em maiores concentrações, verifica-se a dissolução pela hidrólise das estruturas dos minerais do solo (23). Contudo, mesmo nas concentrações mais elevadas desse ácido, ao final das extrações os minerais micáceos do tamanho areia não são degradados (11). Por este motivo, a mica, nas frações grosseiras da maioria dos perfis, está contribuindo para que os teores obtidos pelo ataque com HF, HNO₃ e H₂SO₄ concentrados sejam mais elevados que com HNO₃ 4N, notadamente nos perfis 1 e 5 (Quadro 3). Outra evidência deste comportamento é a relação entre o K disponível e o extraído com HNO₃ 4N, mostrando maior participação de formas trocáveis do nutriente na extração com HNO₃ nestas amostras, indicando a maior dificuldade de extração do K, advindo das formas mais estáveis (K total).

Em relação à utilização da reserva mineral de K pelas plantas, tendo em vista as extrações nítricas, verificou-se seqüência crescente no potencial dos solos em liberar esse nutriente (Figura 1): Cambissolo Háplico (perfil 1), Latossolo Bruno (perfil 2), Nitossolo Háplico (perfil 5), Cambissolo Háplico (perfil 4), Latossolo Vermelho (perfil 7), Neossolo Litólico (perfil 3), Latossolo Vermelho (perfil 9), Cambissolo Háplico (perfil 10), Cambissolo Háplico (perfil 8) e Cambissolo Háplico

(perfil 6). A partir da concentração de HNO_3 1N a reação torna-se mais forte, aumentando bastante a declividade das curvas das amostras, com exceção do perfil 4, que apresenta, provavelmente, maiores quantidades relativas de mica e feldspato-K na fração areia.



CONCLUSÕES

1) A reserva de K nos solos estudados é determinada, principalmente, pelo material de origem e estágio de desenvolvimento, sendo mais expressiva nos Cambissolos, principalmente nos originados de micaxisto e conglomerado (perfis 6 e 10, respectivamente) e no

Neossolo originado de arenito (perfil 3). Mesmo se tratando de rochas sedimentares, com predomínio de quartzo, a grande reserva de K nos solos originados de arenito e conglomerado é atribuída às estratificações com finas camadas de siltitos e argilitos nestas rochas, com elevadas quantidades de minerais micáceos.

2) Em geral, a fração argila, essencialmente caulinítica, é o principal constituinte dos solos. Os teores de mica nesta fração variam de $7,3 \text{ g kg}^{-1}$ a $307,2 \text{ g kg}^{-1}$, evidenciando a presença do mineral mesmo em solos muito intemperizados, como o Latossolo Bruno (perfis 2 e 7) e o Latossolo Vermelho (perfil 9).

3) Com base nas extrações com ácido nítrico fervente em diferentes concentrações, estabeleceu-se a seguinte seqüência crescente dos solos no potencial de liberação de formas não-trocáveis de K para as plantas: Cambissolo Háptico (perfil 1), Latossolo Bruno (perfil 2), Nitossolo Háptico (perfil 5), Cambissolo Háptico (perfil 4), Latossolo Vermelho (perfil 7), Neossolo Litólico (perfil 3), Latossolo Vermelho (perfil 9), Cambissolo Háptico (perfil 10), Cambissolo Háptico (perfil 8) e Cambissolo Háptico (perfil 6).

REFERÊNCIAS

1. BRAGA, J. M. Avaliação da fertilidade do solo: análise química. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1980. 64p.
2. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2 ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
3. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. O solo e sua ambiência no foco de agricultura de precisão. Colombo, 2001. 86 p. (Relatório interno).
4. FANNING, D. S.; KERAMIDAS, V. Z. & EL-DESORKY, M. A. Micas. In: Dixon, J. B. & Weed, S. B. (eds). Minerals in soil environments. 2. ed. Madison, Soil Science Society of America, 1989. p.551-634.
5. FUCK, R. O.; TREIN, E. & MARINI, O. J. Geologia e petrografia dos migmatitos do Paraná. B. Paran. Geociências, 23/25:5- 41, 1967.
6. GEE, G. W. & BAUDER, J. W. Particle-size analysis. In: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. Part 1: Physical and mineralogical methods. 2 ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 383-411.
7. INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. Cartas climáticas do Paraná. Versão 1.0. Londrina, PR, 2000. 1 CD-ROM.
8. JACKSON, M.L. Soil chemical analysis – Advanced course. Madison, Prentice-Hall, 1979. 895p.
9. JACKSON, M.L.; LIM, C. H. & ZELAZNY, L.W. Oxides, hydroxides, and aluminosilicates. In: Klute, A. (ed). Methods of soil analysis. Parte 1: Physical and mineralogical methods. Madson, American Society of Agronomy, 1986. p. 101-50.
10. MELLO, F. A. F. Fertilidade do solo. Piracicaba, Nobel, 1983. 400 p.
11. MELO, V.F.; BARROS, N.F.; COSTA, L.M.; NOVAIS, R.F. & FONTES, M.P.F. Formas de potássio e de magnésio em solos do Rio Grande do Sul, e sua relação com

- o conteúdo na planta e com a produção em plantios de eucalipto. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 19:165-71, 1995.
12. MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; FONTES, M. P. F. & SCHAEFER, C. E. G. R. Potássio e magnésio em minerais das frações areia e silte de diferentes solos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 24:269-84, 2000.
 13. MELO, V. F.; SINGH, B.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R. F. & FONTES, M. P. F. Chemical and mineralogical properties of Kaolinite-rich Brazilian soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 65:1324-33, 2001.
 14. MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & FONTES, M. P. F. Distribuição de K, Mg, e outros metais nos minerais de sedimentos do Grupo Barreiras no Município de Aracruz, Estado do Espírito Santo. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 26:43-51, 2002.
 15. MELO, V. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; NOVAIS, R.F.; SINGH, B. & FONTES, M. P. F. Potassium and magnesium in clay minerals of some Brazilian soil as indicated by a sequential extraction procedure. *Comm. Soil Sci. Plant An.*, 33:2203-25, 2002.
 16. MELO, V. F.; CORRÊA, G. F.; MASCHIO, P.A.; RIBEIRO, A. N. & LIMA, V. C. Importância das espécies minerais no K total da fração argila de solos do Triângulo Mineiro. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 27: 807-19, 2003.
 17. PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M. & ZOCOLER, D.C. Manual de análise química de solo e controle de qualidade. Londrina, IAPAR, 1992. 39 p. (Circular Técnica nº 76).
 18. PINTO, O.C.B.; YAHNER, J.E. & ROTH, C.B. Natureza e formação de caolinita em forma de pseudomorfa, em solos de Viçosa, Minas Gerais. *Experientiae*, 13:383-421, 1972.
 19. PRASAD, R. & POWER, J. F. Soil fertility management for sustainable agriculture. New York, Lewis Publishers, 1997. 356 p.
 20. PRATT, P. F. Lithium, sodium and potassium. In: Page, A.L. (ed.). *Methods of soil analysis. Parte 2. Chemical and microbiological properties.* Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.225-46.
 21. RAIJ, B. VAN. Avaliação da fertilidade do solo. 3. ed. Piracicaba, Instituto Potassa & Fosfato, 1991. 142 p.
 22. SANZ-SCOVINO, J. I.; WEIL, S. & JONES, A. A. The mineralogy and potassium reserves of a soil from Carimagua, Colombia. *Geoderma*, 52:291-302, 1992.
 23. SIMARD, R. R.; KIMPE, C.R. & ZIZKA, J. Release of potassium and magnesium from soil fractions and its kinetics. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 56:1421-8, 1992.
 24. SMITH, J.A. & MATTHEWS, B.C. Release of potassium by 18 Ontario soils during continuous cropping in the greenhouse. *Can. J. Soil Sci.*, 37:1-10, 1957.
 25. SONG, S. K. & HUANG, P. M. Dynamics of potassium release from potassium-bearing minerals as influenced by oxalic and citric acids. *Soil Sci. Soc. Amer. J.*, 52:383-90, 1988.
 26. SPARKS, D.L. Potassium dynamics in soils. *Advances in Soil Science*, 6:1-63, 1987.
 27. TRIBUTH, H.; BOGULAWSKI, E. V.; LIERES, A. V.; STEFFENS, D. & MENGEL, K. Effect of potassium removal by crop on transformation of illitic clay minerals. *Soil Sci.*, 143:404-9, 1987.
 28. TROEH, F. R. & THOMPSON L. M. Potassium. In: *Soils and soil fertility.* New York, Oxford, 1993. p. 235-52.
 29. WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-ray diffraction techniques. In: Klute, A. (ed). *Methods of soil analysis. Parte 1: Physical and mineralogical methods analysis.* Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 331-62.