

CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS CONSTITUINTES MINERALÓGICOS RESPONSÁVEIS PELA ADSORÇÃO DO FOSFATO EM TRÊS AMOSTRAS DE SOLOS^{1/}

Haroldo Duarte Jorge^{2/}

José Mário Braga^{2/}

Onofre C. Brumano Pinto^{2/}

Liovando M. da Costa^{2/}

1. INTRODUÇÃO

São relativamente raros, na literatura, trabalhos em que se procura relacionar a adsorção de fosfato com a mineralogia, em solos tropicais.

Embora os principais constituintes responsáveis pela retenção de fósforo nos solos tenham sido identificados (1, 11, 12, 15), várias dúvidas persistem, quanto ao tipo predominante de sua interação com o fósforo, causa do aumento ou diminuição da liberação de fósforo da fase sólida para a solução do solo.

Alguns mecanismos têm sido propostos para esclarecer a liberação mencionada. De acordo com SAMPLE *et alii* (17), o fósforo pode combinar-se com os constituintes sólidos através da adsorção (física e química), troca aniónica e reações de precipitação (superficial e de fases sólidas separadas).

Independentemente das reações envolvidas na adsorção de fosfato, um estado de equilíbrio é admitido entre o fósforo localizado na fase sólida e na fase líquida. Para descrever esse equilíbrio, podem ser usadas isotermas, como a de Langmuir e a de Freundlich, dentre outras (6, 14, 21).

A isotermia de Langmuir, apresentada para descrever a adsorção de moléculas de gases a superfície sólida, foi usada pela primeira vez, para solos, somente em 1957 (14), sofrendo, posteriormente, algumas modificações, principalmente com re-

^{1/} Parte da tese apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa, como uma das exigências do Curso de Solos e Nutrição de Plantas para a obtenção do título de MS.

Aceito para publicação em 11-10-1985.

^{2/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

lação à presença de mais de uma região de adsorção, conforme trabalhos de alguns pesquisadores (1, 6).

A presença de mais de uma região de adsorção tem sido relacionada com a heterogeneidade do material do solo, abundância do mineral, tamanho de partículas do cristalito e grau de substituição isomórfica, como mostram os dados de alguns investigadores (6, 15).

Algumas correlações significativas entre os constituintes do solo e a adsorção máxima têm sido identificadas. De acordo com PARFITT (15), correlações positivas e significativas são obtidas entre adsorção máxima de fosfato e alumínio, ferro, matéria orgânica, cátions trocáveis, acidez e teor de argila.

Os solos tropicais, comumente ácidos, apresentam alta capacidade de retenção de fósforo, o qual tende a se ligar com maior energia aos óxidos de ferro e alumínio ativos. De acordo com PARFITT (15), são os hidróxidos de ferro e alumínio, bem como o alumínio existente na superfície dos minerais de argila, os responsáveis pela adsorção de fosfato a solos ácidos. BAHIA FILHO (1), trabalhando com latossolo do Planalto Central Brasileiro, encontrou que a goethita foi o constituinte mineral responsável por 86% das variações observadas na adsorção de fosfato.

Este trabalho teve como objetivo determinar os principais constituintes mineralógicos de alguns solos responsáveis pela adsorção do fosfato.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas amostras dos horizontes A e B₂ de três solos, um do Estado do Espírito Santo e dois de Minas Gerais.

O solo do Estado do Espírito Santo, procedente de Linhares, é um Latossolo Amarelo Álico (amostras LiA e LiB), caracterizado e descrito pela EMBRAPA (4). Apesar do gradiente textural existente nesse solo (Quadro 1), verificou-se, no campo, uma massa latossólica no horizonte diagnóstico. Os solos do Estado de Minas Gerais foram coletados próximo a São Gotardo, na área abrangida pelo Programa de Assentamento Dirigido do Alto Paranaíba (PADAP), e na Mata do Belvedere, dentro do «campus» da Universidade Federal de Viçosa. O primeiro é um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (amostras SgA e SgB), descrito por CARMO (3); o segundo, um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico (amostras ViA e ViB), é semelhante aos descritos por REZENDE (16).

As seis amostras dos três solos foram analisadas, para a determinação de algumas características físicas (Quadro 1), conforme a metodologia recomendada pela EMBRAPA (5).

Quanto à caracterização química (Quadro 2), mediu-se o pH, em água e em KCl, determinado segundo a EMBRAPA (5); matéria orgânica, pelo método de Walkley-Black, segundo JACKSON (7); hidrogênio, usando acetato de cálcio e cálcio + magnésio e alumínio trocáveis, usando KCl 1N, determinados segundo a EMBRAPA (5); potássio e fósforo, usando os extratores de Mehlich-1 e Bray-1, de acordo com BRAGA (2).

Além dessas determinações, fez-se o ataque sulfúrico ($d = 1,47$) das amostras, segundo VETTORI (22); remoção da matéria orgânica, segundo JACKSON (7); remoção dos óxidos de ferro livre da fração argila, com e sem matéria orgânica, com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, pelo método descrito pela EMBRAPA (5).

Fez-se, também, a determinação de ponto de carga zero (PCZ), utilizando a mesma metodologia usada por Van RAIJ (20), cálculo da capacidade máxima de adsorção de fósforo, usando-se as concentrações de 4 e 128 ppm de P para as amostras LiA, LiB, ViA e ViB e de 4 a 256 ppm de P para as amostras SgA e SgB. Quando se fez a determinação da capacidade máxima de adsorção de fósforo na fração argila, seguiu-se a metodologia descrita por BRAGA (2), variando apenas a relação argila-solução, que foi de 1:16,7, e os níveis de fósforo, que foram de 4 a 128

QUADRO 1. Algumas características físicas das amostras dos solos

Solo	Amostra	Procedência	Profundidade	Análise textural			Classificação	Equivalece dc unidade
				Argila	Silte	A. fina		
LA	LIA	Esírito Santo	0 - 20	16	6	14	64	Franco-arenoso
LB	LIB	Esírito Santo	59 - 100	44	7	14	35	Argila arenosa
LV	SgA	São Gotardo-MG	0 - 25	62	23	13	2	Argila pesada
SGB	SgB	São Gotardo-MG	60 - 135	76	16	6	2	Argila pesada
LV	VIA	Viçosa-MG	0 - 20	48	11	9	32	Argila
VIB	VIB	Viçosa-MG	80 - 100	57	14	9	20	Argila

QUADRO 2 - Algumas características químicas das amostras dos solos

Amostra	pH		Mg KCl	H ⁺	Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K	pH Mehlich-1 Bray-1			Ataque ácido sulfúrico			
	H ₂ O	KCl							%	meq/100 g	pm	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
LIA	5,49	4,59	1,65	2,04	nd*	0,97	0,20	4,3	1,6	1,8	7,3	0,6	4,9	2,7	0,02
LIB	4,49	3,91	0,55	2,56	0,88	0,15	0,09	18	0,4	0,5	20,7	1,2	16,5	5,2	0,03
SIA	5,02	4,37	3,91	7,53	0,50	nd*	nd*	30	0,4	2,5	8,6	2,1	39,1	13,3	0,14
SSB	5,51	5,55	1,64	5,38	nd*	nd*	nd*	2	0,3	0,1	9,1	2,3	40,5	14,3	0,12
VIA	4,03	3,53	4,28	11,32	2,88	0,12	0,11	50	3,7	3,0	20,1	0,8	16,5	5,6	0,06
VIB	4,84	4,14	0,80	3,22	nd*	nd*	nd*	4	1,0	1,0	26,1	1,1	22,5	7,1	0,05

nd* - não detectado.

ppm de P, para todas as amostras. Os dados de concentração de fósforo em equilíbrio, em ppm de P, e de fósforo adsorvido foram ajustados à isoterma de Langmuir, na sua forma hiperbólica, com o uso do programa REGRENL, segundo LUDWIG e EUCLIDES (9).

As frações argila dos solos foram submetidas à análise, por difração de raios-X, depois de sofrerem os seguintes tratamentos:

a) orientação paralela, com saturação de Mg e solvatação em glicerol, segundo JACKSON (8);

b) eliminação da matéria orgânica, segundo JACKSON (7);

c) tratamento com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, segundo a EMBRAPA (5);

d) tratamento com NaOH 5N, segundo a técnica de NORRISH e TAYLOR (13).

Nos quatro tratamentos, a análise foi realizada em difratômetro «Geigerflex Rigaku», com radiação Cu K ($\lambda = 1,5418 \text{ \AA}$), com filtro de níquel, 40 KV e 30 mA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de difração de raios-X nas seis amostras de solo mostraram que a única argila silicatada presente foi a caolinita, como indicaram os difratogramas (Figuras 1, 2, 3 e 4).

Além da caolinita (Ka), foram identificados gibbsita (Gb), goethita (Go), anatásio (An) e, possivelmente, hematita (Hm). A presença de gibbsita nos solos estudados pode ser constatada nos difratogramas (Figuras 1 e 3), onde se pode notar, também, a predominância desse mineral nos solos de São Gotardo.

O anatásio (Figuras 1 a 4), com presença evidenciada no solo de São Gotardo, indica, ao lado da gibbsita, o avançado estado de intemperismo desse solo. Sua ausência aparente nos solos de Viçosa e de Linhares (Figuras 1, 3 e 4) é estranha, talvez por um possível mascaramento de seu pico diagnóstico pelo da caolinita, como indicam as Figuras 1, 3 e 4. A goethita e a hematita foram os compostos de ferro identificados em todos os solos, como indicam os difratogramas, principalmente o da Figura 2.

No Quadro 3 acha-se sintetizada a quantificação desses minerais.

Dante desses resultados, os solos foram classificados, quanto à composição mineralógica, em:

a) solos caolinitico/goethíticos (amostras LiA, LiB, ViA e ViB).

b) solos gibbsítico/caoliniticos (amostras SgA e SgB), tendendo para gibbsítico/goethíticos.

A composição mineralógica das amostras dos solos e somente da fração argila (Quadros 3 e 4) mostrou que a caolinita foi o mineral predominante na fração argila das amostras LiA, LiB, ViA e ViB e a gibbsita nas amostras SgA e SgB.

Os teores de Fe_2O_3 e Al_2O_3 acumulados, obtidos após cinco extrações com DCB, mostraram porção de alumínio removida juntamente com os minerais ferruginosos (Quadro 5). Por sua vez, essas extrações mostraram haver diferentes relações que sugerem variações na substituição isomórfica de Fe por Al na goethita, diferenciando, possivelmente, a capacidade adsorptiva desse material.

Além dos parâmetros relacionados anteriormente, foi feita a determinação do PCZ nas seis amostras trabalhadas (Figura 5). Observou-se a existência de uma faixa de incerteza na qual se encontra o PCZ. Este intervalo situa-se entre as curvas obtidas em soluções salinas mais diluídas. Fato semelhante foi observado por van RAIJ (19) e ATKINSON *et alii*, citados por VASCONCELOS (21). Também pelas análises do Quadro 2 e Figura 5 pode-se ver que a grande diferença entre o pH determinado em água e o pH determinado em KCl N indica que o pH do solo está distante do PCZ.

Os valores de PCZ, obtidos pelas curvas de titulação (Figura 5), mostram o efeito da matéria orgânica do horizonte superficial. Dados semelhantes foram ob-

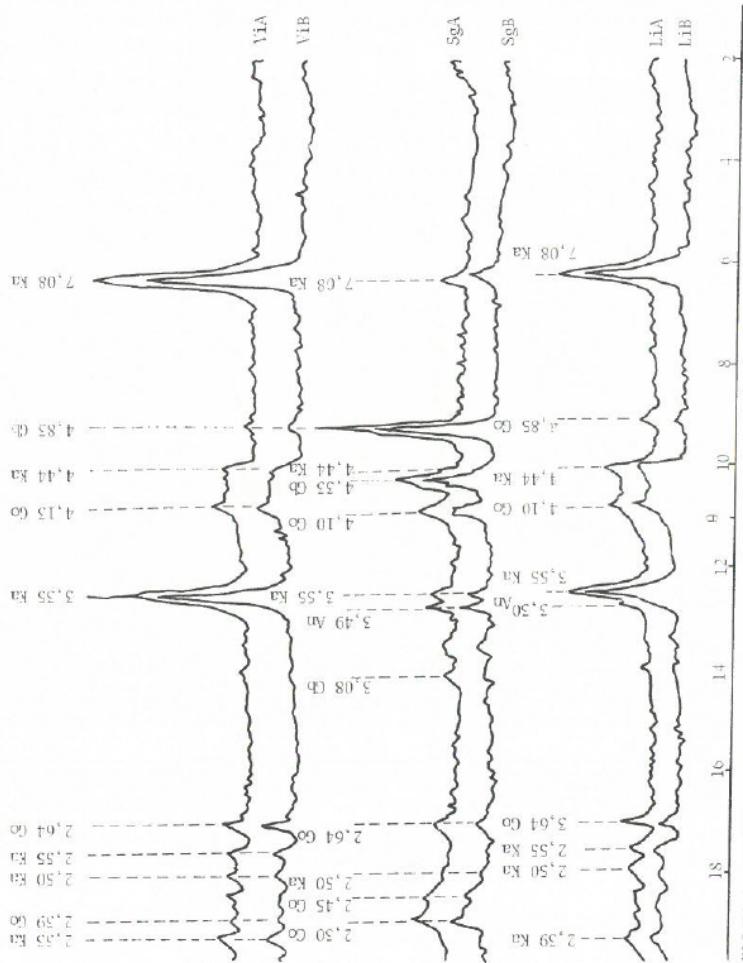


FIGURA 1 - Difratogramas de Li^{+} minas da fração argila dos diversos solos submetidos à oxidação com H_2O_2 30%, mostrando a predominância de calonita (ka) em todos, exceto o de São Geraldo, onde predomina a albitosa (ab).

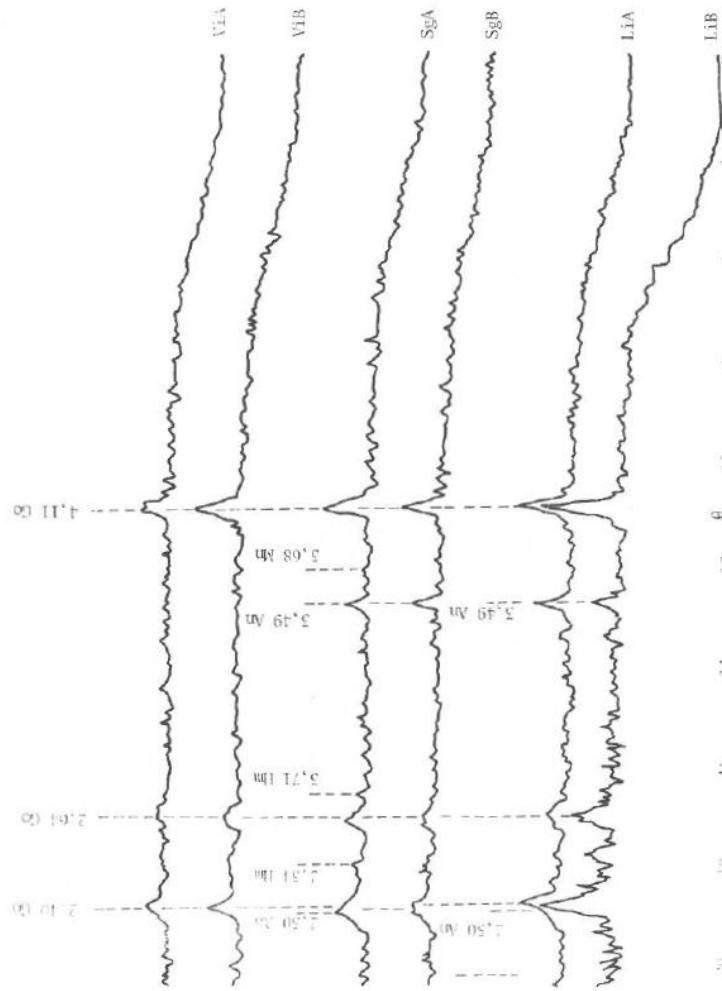


Figura 2 - IR-iratogramas de lâminas da fração argila dos diversos solos submetidos ao ataque com NaCl/SN, evidenciando a presença dos compostos de ferro pela destruição das argilas silicatadas.

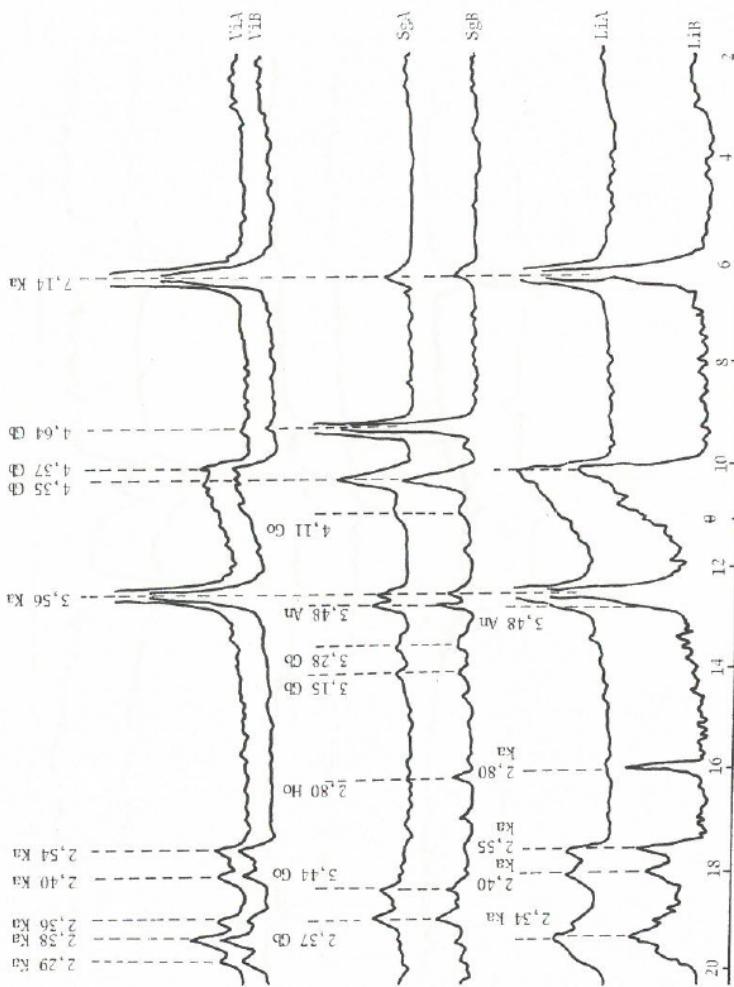


FIGURA 3 - Difratograma de lâminas da fração argila dos diversos solos submetidas à aeração com 100

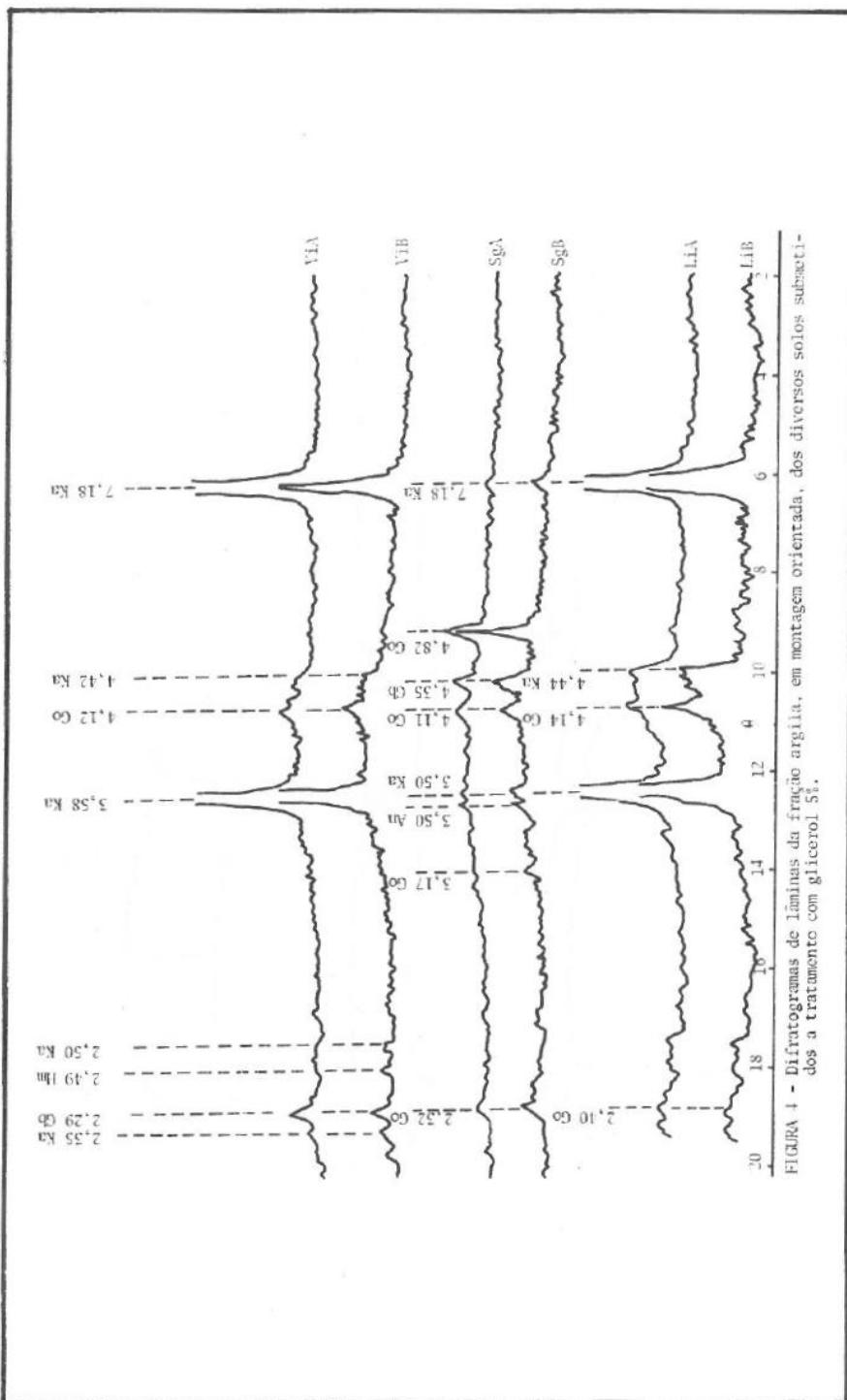


FIGURA 4 - Difratogramas de lâminas da fração argila, em montagem orientada, dos diversos solos submetidos a tratamento com glicerol 50%.

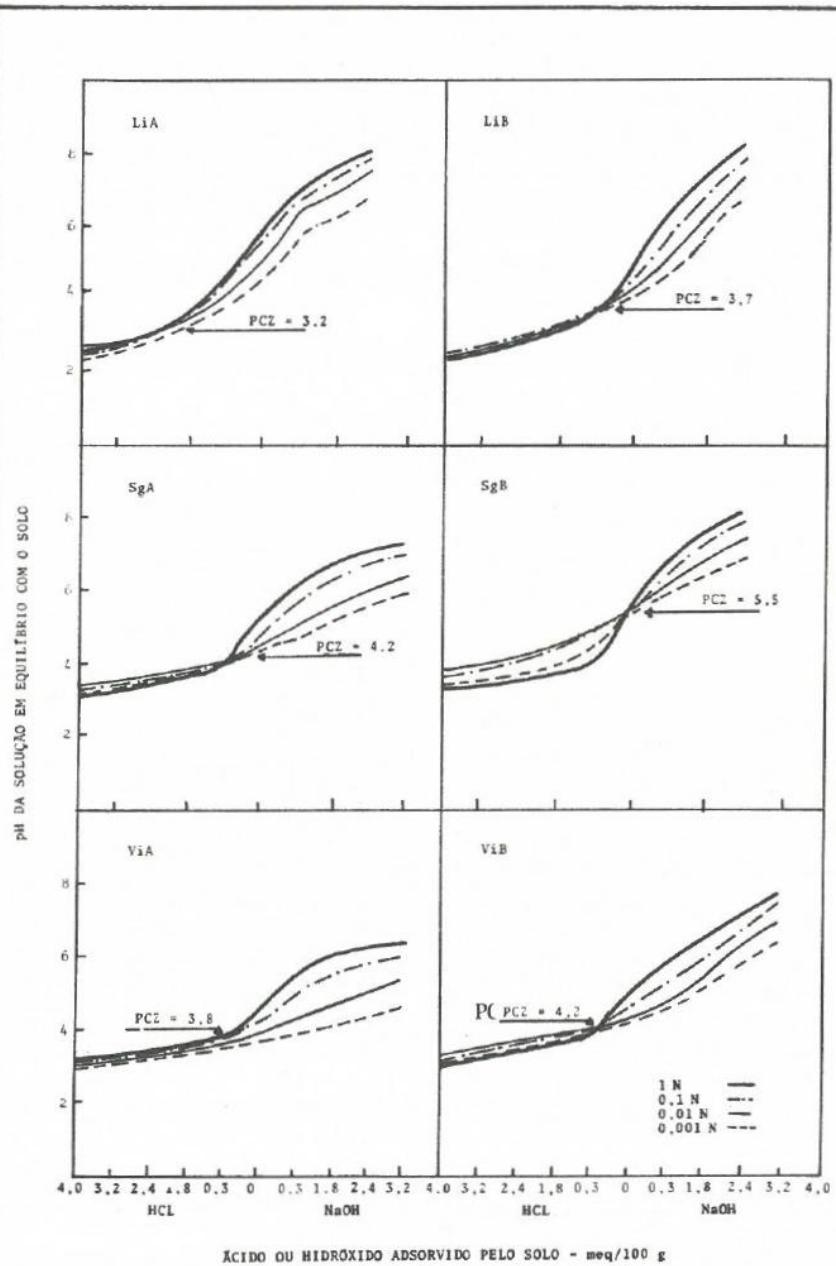


FIGURA 5 - Curvas de titulação de amostras de solo em diferentes concentrações de NaCl e determinação do ponto de carga zero.

QUADRO 3 - Composição mineralógica das amostras dos solos, calculada a partir dos teores de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico

Amostras de solo	Composição mineralógica			
	caolinita	goethita	gibbsita	sílica amorfa
%				
LiA	11	3	—	2
LiB	40	5	—	2
SgA	18	15	45	—
SgB	20	16	46	—
ViA	39	6	—	2
ViB	54	8	—	1

QUADRO 4 - Composição mineralógica da fração argila, calculada a partir dos teores de óxidos obtidos pelo ataque sulfúrico das amostras dos solos

Amostras de solo	Composição mineralógica			
	caolinita	goethita	gibbsita	sílica amorfa
%				
LiA	70	18	—	13
LiB	90	12	—	5
SgA	30	25	73	—
SgB	26	21	61	—
ViA	82	13	—	4
ViB	95	14	—	2

tidos por van RAIJ e PEECH (20), van RAIJ (19), UEHARA e KENG (18) e MORAIS *et alii* (10).

Na maioria das amostras analisadas, o valor do PCZ está abaixo do valor do pH natural do solo (Quadros 2 e 6), indicando, assim, que o colóide do solo tem carga líquida negativa, em condições naturais, no presente material.

Na amostra LiA (Figura 5), a curva de titulação em meio de NaCl N não cruzou com as demais curvas. Esse fato pode ser explicado pela alta concentração

QUADRO 5 - Teores cumulativos de Fe_2O_3 e de Al_2O_3 após cinco extrações sucessivas com DCB e grau de substituição isomórfica (x) de Fe por Al nos compostos de ferro da fração argila das amostras de solo

Fração argila	Fe_2O_3	Al_2O_3	$\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$	x_1
————— % —————				
LiA	3,47	1,42	0,41	0,39
LiB	4,32	1,38	0,32	0,33
SgA	7,03	3,00	0,43	0,40
SgB	8,26	3,12	0,38	0,37
ViA	4,51	1,61	0,36	0,36
ViB	6,37	1,61	0,26	0,28

$$x_1 = \frac{(Fe_1 - x Al_x) / 100H}{(Fe_1 - x Al_x) / Al_2O_3} = \frac{Al_2O_3 (1,565)}{Fe_2O_3 + Al_2O_3 (1,565)}$$

QUADRO 6 - Valores de capacidade máxima de adsorção (CMA) de fosfato, energia de adsorção (K), PCZ e minerais argilosos predominantes nas diversas amostras dos solos

Amostras de solo	CMA $mg.g^{-1}$	K $ml.\mu g^{-1}$	R^2	PCZ	Minerais argilosos predominantes
LiA	0,44	0,047	0,923**	3,2	caol. goet.
LiB	0,55	0,50	0,888**	3,7	caol. goet.
SgA	1,93	1,21	0,921**	4,2	gibb. caol.
SgB	2,31	5,00	0,915**	5,5	gibb. caol.
ViA	0,94	0,35	0,960**	3,8	caol. goet.
ViB	0,83	2,27	0,899**	4,2	caol. goet.

**/ Significativo a 1% de probabilidade.

de íons Na^+ adsorvidos ao complexo sortivo, bloqueando a troca de íons H^+ provenientes de HCl 0,04N, mantendo-os em solução e abaixando o pH do meio. Esse baixo valor de PCZ (3,2) pode ser atribuído à quantidade de caolinita presente neste solo, ocorrendo o mesmo com as amostras LiB, ViA e ViB.

As amostras SgA e SgB apresentaram um PCZ bem definido, de 4,2 e 5,5, respectivamente. A amostra SgB, de pH positivo, e o PCZ, situando-se em pH 5,5, próximo ao valor de pH determinado em água, indicam que a densidade de carga superficial (δ_0) é igual a zero. Nesse pH específico, tanto δ_0 como pH são independentes da concentração salina (18). Esse valor de PCZ pode ser atribuído à qualidade dos óxidos de ferro e alumínio presentes neste solo (Quadro 2). Segundo Parks, citado por MORAIS *et alii* (10), na presença de óxido de ferro o alumínio tende a deslocar o PCZ para valores maiores de pH.

Para a amostra ViA, as curvas de titulação em meio de NaCl N e NaCl 0,1 N não tocaram as outras curvas. Essa amostra tem 4,28% de MO e 2,88 meq. $\text{Al}^{3+}/100\text{ g}$ de solo; portanto, em condições de acidez, os íons Al^{3+} adsorvidos estariam bloqueando os pontos de carga negativa (18), mantendo os íons provenientes de HCl 0,04N em solução, abaixando o pH do meio. Portanto, o PCZ reflete a composição mineralógica e o conteúdo de matéria orgânica do solo.

A obtenção dos dados sobre a composição mineralógica e sobre o PCZ das amostras de solo teve o objetivo de relacionar esses parâmetros com a capacidade máxima de adsorção, uma vez que esse fenômeno está associado com os de superfície. Assim, analisando os Quadros 5 e 6, observam-se correlações entre adsorção máxima de fosfato, qualidade de argila e quantidade de ferro e alumínio extraídos com DCB. As correlações encontradas refletem diretamente a retenção do fosfato aplicado.

Relações significativas foram obtidas entre CMA e PCZ (Quadro 6), exceto na amostra ViB, nas diversas amostras de solo. Para a amostra ViA (Quadro 2), a matéria orgânica e o alumínio foram responsáveis por um menor PCZ e maior CMA, com relação ao solo ViB (Quadro 6), indicando, assim, a participação positiva da matéria orgânica na adsorção de fosfato. Essa participação, certamente, resultou da presença dos cátions ferro, alumínio e cálcio, como também observado por SAMPLE *et alii* (17).

Com relação às energias de adsorção (K), observou-se que K_2 foi 10,64 vezes maior que K_1 e K_4 , 4,13 vezes maior que K_3 e K_6 e 6,49 vezes maior que K_5 , mostrando, assim, que a retenção do fósforo no horizonte B_2 foi maior que no horizonte A.

Comparando os tratamentos com argila e matéria orgânica oxidata, observaram-se correlações significativas entre matéria orgânica e adsorção de fósforo nas amostras LiB e ViB e correlação não significativa nas amostras LiA, LiB e SgB (Quadro 7), possivelmente por causa da permanência dos íons metálicos no complexo sortivo do solo, quando se fez a remoção da matéria orgânica com H_2O_2 a 30%.

Por outro lado, quando se fez a oxidação da matéria orgânica, eliminado o ferro, foi possível observar, em todas as amostras analisadas, a capacidade de adsorção de fosfato da caolinita e da gibbsita (Quadros 4 e 7), graças à retirada da goetita, cuja contribuição se torna aparente. Provavelmente, aconteceu um aumento da superfície do solo, em consequência da remoção de ferro e alumínio com DCB, além da remoção dos compostos orgânicos, tais como oxalato e citrato, que bloqueiam pontos de adsorção, segundo PARFITT (15).

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Com o objetivo de verificar a capacidade adsorptiva de P dos constituintes mineralógicos do solo, foram tomadas amostras superficiais de três solos, um Latos-

QUADRO 7 - Valores de capacidade máxima de adsorção (CMA) de fosfato e energia de adsorção (K), para diversos tratamentos da fração argila das amostras de solo

Fração argila	Tratamento	CMA mg.g ⁻¹	K ml.ug ⁻¹	R ²
LiA	Argila	0,96	0,47	0,970**
	Mat. org. oxid.	0,91	0,78	0,985**
	Mat. org. oxid.s/Fe	0,62	0,17	0,985**
LiB	Argila	0,89	0,047	0,983**
	Mat. org. oxid.	1,49	0,54	0,985**
	Mat. org. oxid.s/Fe	0,79	0,34	0,500**
SgA	Argila	2,25	10,00	0,981**
	Mat. org. oxid.	2,24	0,15	0,995**
	Mat. org. oxid.s/Fe	1,70	1,00	0,974**
SgB	Argila	2,28	0,12	0,981**
	Mat. org. oxid.	2,19	0,35	0,990**
	Mat. org. oxid.s/Fe	1,70	0,71	0,977**
ViA	Argila	0,97	0,75	0,986**
	Mat. org. oxid.	1,07	0,70	0,980**
	Mat. org. oxid.s/Fe	0,74	0,72	0,990**
ViB	Argila	1,26	0,028	0,973**
	Mat. org. oxid.	1,08	0,026	0,995**
	Mat. org. oxid.s/Fe	0,87	0,18	0,970**

**/ significativo a 1% de probabilidade.

solo Vermelho-Amarelo Álico, procedente de Linhares, ES, um Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, procedente de São Gotardo, MG, e um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, de Viçosa, MG.

Nas seis amostras de solo foram feitas algumas determinações físicas e químicas, além da identificação dos minerais argilosos por difração de raios-X e composição mineralógica, utilizando os teores de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 e TiO_2 , associada à difração de raios-X.

Além dessas determinações, foram feitas as de Fe, com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio, ponto de carga zero (PCZ), capacidade máxima de adsorção de fósforo, com e sem tratamento, utilizando NaOH 5N, com e sem eliminação de matéria orgânica, mais as determinações químicas, para caracterização de fertilidade do solo e do complexo sortivo.

Diante dos resultados obtidos, concluiu-se que:

1. O Latossolo Amarelo Álico e o Latossolo Vermelho-Amarelo Álico podem classificar-se, quanto à composição mineralógica, como solos caolínítico/goethíticos.

2. O ponto de carga zero (PCZ) pode refletir a composição mineralógica e é influenciado pelo conteúdo de matéria orgânica dos solos.

3. Relação significativa foi obtida entre a capacidade máxima de adsorção de fósforo e o PCZ, fato atribuído aos oxidróxidos de ferro e de alumínio e à matéria orgânica.

4. A goethita, a gibbsita e a caolinita foram os principais constituintes da fração argila responsáveis pelas variações observadas na adsorção máxima de fósforo. Nesse aspecto, a goethita parece ter sido mais eficiente.

5. SUMMARY

(A CHARACTERIZATION OF THE PRINCIPAL MINERAL COMPONENTS RESPONSIBLE FOR PHOSPHORUS ADSORPTION IN THREE BRAZILIAN SOILS)

The adsorptive capacity of the soil mineralogical components in relation to phosphorus was studied in latosols from Linhares, Espírito Santo and São Gotardo and Viçosa, Minas Gerais. The samples were collected from the A and B horizons of these soils.

The SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , and TiO_2 levels, the quantitative mineralogical composition physical and chemical analysis and the ZPC (zero point charge) were also determined on under-taken to provide interpretive information relative the adsorptive capacity of phosphorus.

As a result of these analysis it was concluded that:

1. The soils from Linhares and Viçosa may be considered as kaolinitic/goethitic types, according to their mineralogical composition.

2. The ZPC may reflect the mineralogical composition of the soils and is influenced by the organic matter content.

3. A significant and positive correlation was obtained between the maximum capacity of phosphorus adsorption and the ZPC. This was attributed to the presence of oxyhydroxides of iron, aluminum and organic matter.

4. Goethite, gibbsite and kaolinite were the most important components of the clay fraction of the soils and were responsible for the variations observed in the maximum adsorption of phosphorus. In the respect, goethite was the most efficient.

6. LITERATURA CITADA

1. BAHIA FILHO, A.F. de C. *Índice de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas*. Viçosa, U.F.V., 1982. 179 p. (Tese de doutorado).
2. BRAGA, J.M. *Avaliação da fertilidade do solo-análise química*. I parte. Viçosa, Imprensa Universitária, 1980. 87 p.
3. CARMO, D.N. do. *Caracterização, gênese e uso de latossolos sob cerrado no município de Rio Paranaíba-MG*. Lavras, ESAL, 1977. 84 p. (Tese de mestrado).
4. EMBRAPA — Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Levantamento de reconhecimento dos Solos do Estado do Espírito Santo*. Rio de Janeiro, SNLCS, 1978. 401 p. (Bol. n.º 45).
5. EMBRAPA — Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, SNLCS, 1979. s/p.

6. HOLFORD, I.C.R.; WEDDERBUNN, R.W.M. & MATTINGLY, G.E.G. A Langmuir two surface equation as a model for phosphate adsorption by soils. *J. Soil Sci.* 25:242-255. 1974.
7. JACKSON, M.L. *Soil Chemical Analysis*. Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1965. 498 p.
8. JACKSON, M.L. *Soils Chemical Analysis-Advanced Course*. Madison, Publicado pelo autor, 1975. 894 p.
9. LUDWIG, A. & EUCLIDES, R.F. *REGRENL, um programa para ajustamento de funções não lineares*. Viçosa, U.F.V. 1983. 11 p. (Bol. n.º 154).
10. MORAIS, F.I., PAGE, A.L. & LUND, L.J. The effect of pH, salt concentration, and nature of electrolytes on the charge characteristics of Brazilian tropical soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40:521-527. 1976.
11. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRKE, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. I — The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.* 17:212-229. 1961.
12. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRKE, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. II — The location of the adsorption sites. *J. Soil Sci.* 17:230-237. 1966.
13. NORRISH, K. & TAYLOR, R.M. The isomorphous replacement of iron by aluminum in goethites. *J. Soil Sci.* 12:294-306. 1961.
14. OLSEN, S.R. & WATANABE, F.S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 21:144-149. 1957.
15. PARFITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.* 30: 1-49. 1978.
16. REZENDE, S.B. *Estudo de cromotopossequência em Viçosa, Minas Gerais*. U.F.V., 1971. 71 p. (Tese de mestrado).
17. SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J. & RACZ, C.J. Reaction of phosphate fertilizer in soils. In: KHSAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPLATH, E.J. *The role of phosphorus in agriculture*. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p. 263-310.
18. UEHARA, G. & KENG, J. Relaciones entre la mineralogía y el manejo de los suelos en la America Latina. In: E. BORMENISZA & A. ALVARADO. *Manejo de suelos em la America Tropical*. Raleigh, North Carolina State University, 1974. p. 357-370.
19. VAN RAIJ, B. Determinação do ponto de carga zero em solos. *Bragantia*, 32: 337-347. 1973.
20. VAN RAIJ, B. & PEECH, M. Eletrochemical properties of some oxisols and alfisols of the tropics. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36:578-593. 1972.

21. VASCONCELOS, C.A. *Equilíbrio iônico e capacidade de troca de cátions de alguns solos, em função do pH e dos teores de cálcio e magnésio*. Piracicaba, ESALQ, 1976. 112 p. (Tese de doutorado).
22. VETTORI, L. *Métodos de análise de solo*. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24 p. (Bol. Téc., 7).