

## SORÇÃO DE FÓSFORO EM CINCO SOLOS DO ESTADO DE MINAS GERAIS: INFLUÊNCIA DE ALGUNS FATORES\*

Clementino Marcos Batista de Faria  
José Mário Braga  
Onofre Cristo Brumano Pinto\*\*

### 1. INTRODUÇÃO

O fósforo existe no solo sob as formas orgânica e inorgânica em proporções muito variáveis. Os teores de fósforo orgânico estão associados aos de matéria orgânica existente no solo e, por isso, são geralmente maiores nos horizontes superiores do que nos inferiores (5).

São conhecidas formas complexas do fósforo orgânico, tais como fitina e seus derivados, ácidos nucléicos e fosfolipídeos ou fosfatídios (5). As formas de fósforo orgânico no solo estão agrupadas quase que exclusivamente como sais do ácido ortofósfórico, que podem ser classificados como flúor, oxi e hidroxifosfatos de cálcio, alumínio, ferro, magnésio, titânio e manganês (22). Desses compostos, os mais comuns são os fosfatos de cálcio, alumínio e ferro, como as apatitas, a variscita e a estrengita (27).

Inicialmente, a determinação das formas do fósforo inorgânico no solo foi feita por CHANG e JACKSON (8), fazendo extrações sucessivas de uma amostra de solo com cloreto de amônio 1 N, fluoreto de amônio 0,5 N, pH 7,0, hidróxido de sódio 0,1 N, ácido sulfúrico 0,5 N, citrato-ditionito-bicarbonato de sódio, fluoreto de sódio, 0,5 N, pH 7,0 e hidróxido de sódio 0,1 N, que correspondem ao fósforo fracamente adsorvido ao solo, adsorvido ao alumínio, adsorvido ao ferro, solúvel em redutor, fósforo occluso em alumínio e fósforo occluso em ferro, respectivamente. Entretanto, alguns autores indicam problemas nestas determinações, como apresentadas no seu original, (15, 16, 29).

O fósforo nativo do solo ou o fósforo que se aplica ao solo é sorvido por dois processos:

a) Pela formação de precipitados, decorrentes da reação dos íons fosfatados com íons de alumínio, ferro, manganês, cálcio e magnésio, solúveis na solução do solo (5, 23).

b) Pela adsorção de fosfatos nos pontos de troca das superfícies dos minerais argilosos silicatados, dos sesquióxidos e da matéria orgânica. Esta adsorção se verifica pela permuta do íon fosfatado da solução com o íon hidroxila da superfície ativa de determinado composto (6, 11, 14, 20).

\* Parte da tese apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências para obtenção do grau de «Magister Scientiae».

Recebida para publicação em 02-10-1975.

\*\* Respectivamente, Técnico do IPA — Recife — Pernambuco e professores Adjunto e Assistente da U.F.V., Viçosa.

A intensidade de sorção de fósforo no solo entre esses dois processos de adsorção e de formação de precipitados é divergente para os pesquisadores.

Entre os compostos de solo, há evidência que demonstra serem os sesquióxidos as principais superfícies adsorventes. Muitos autores demonstram a importância desses compostos na sorção de fosfato no solo (10, 12, 14, 36, 37).

Alguns autores (12, 14, 28, 33) mostram também relação entre os teores de argila no solo e a sorção de fósforo, enquanto outros pesquisadores (1, 17, 35) não encontraram essa correlação.

Em relação à matéria orgânica, há evidência de que aumentando o teor deste material, ocorre aumento da sorção do fósforo no solo (1, 16, 41).

A influência da acidez na sorção de fosfatos também é outro fator conhecido por muitos pesquisadores (14, 38). FASSBENDER (14), por exemplo, encontrou uma correlação negativa entre a sorção de fosfato e o pH do solo. Os solos que tinham o pH menor do que cinco possuíam alta capacidade de sorção de fósforo, o que ele atribuiu aos progressivos aumentos de matéria orgânica, argila e hidróxidos de ferro e de alumínio com o decréscimo de pH, ficando evidenciado que o efeito do pH na sorção de fósforo é um efeito indireto.

A presença de cationes trocáveis também contribui para aumentar sorção de fosfato. VOLKWEISS (40), depois de saturar o solo com  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , verificou que houve um aumento na sorção de fosfato pelo solo.

O objetivo deste trabalho foi obter dados que indiquem os fatores que influem em menor ou maior grau na adsorção de fosfato em um grupo de solos do Estado de Minas Gerais.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Para se realizar o presente trabalho, escolheram-se cinco Latossolos Vermelho Escuro, dentre os solos estudados por BAHIA FILHO (2), pertencentes a localidades do Estado de Minas Gerais, e que apresentavam valores de poder-tampão de fósforo muito diferentes.

Os valores do poder-tampão de fósforo e algumas das características físicas e químicas desses solos estão no Quadro 1.

Foram tratadas diferentes amostras dos solos com cloreto de potássio, ditionito de sódio e oxalato de amônio, usando-se, respectivamente, os métodos recomendados em diversos trabalhos (26, 30, 39), com o objetivo de medir o efeito do alumínio trocável dos óxidos amorfos de ferro e alumínio na sorção de fosfato.

Foram analisados os teores de fósforo, ferro e alumínio do solo nos extratos obtidos após cada um dos tratamentos, conforme os métodos de diversos autores (4, 32, 39).

A amostra do solo foi lavada com álcool, depois de cada tratamento, e depois de secada na estufa a 75°C, passada numa peneira de 60 «mesh». Nestes solos tratados, bem como nos solos que não receberam tratamentos, estudou-se a sorção de fosfato, fracionamento de fósforo inorgânico e determinou-se a superfície específica, segundo os métodos recomendados por (3, 8, 13, 21).

Análises de regressão e correlação foram realizadas segundo GOMES (18) e IBM (25).

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das quantidades de fósforo inorgânico solúveis em cloreto de amônio, fluoreto de amônio e ácido sulfúrico, em amostras não tratadas com cloreto de potássio KCl 1N, ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (CDB) e oxalato de amônio estão indicados no Quadro 2.

Nota-se, pelo Quadro 2, que entre as formas de fósforo, independente do tratamento, a que mostra maior quantidade é a forma solúvel em hidróxido de sódio, vindo, em seguida, a solúvel em fluoreto de amônio, em ácido sulfúrico, e finalmente a solúvel em cloreto de amônio. Esta ordem na quantidade das formas tem sido observada por outros pesquisadores (8, 9, 24), para os solos muito intemperizados, como é o caso dos solos aqui estudados.

Quando o solo foi tratado com cloreto de potássio 1N, não houve remoção das películas dos óxidos de ferro e de alumínio, sendo esta uma das razões da ausência de fósforo solúvel em cloreto de amônio. Este extrator, cloreto de potássio 1N, desloca o alumínio adsorvido ao complexo de troca do solo, não tendo características

QUADRO 1 - Algumas características físicas e químicas dos solos estudados

Características	Solos estudados *				
	1	2	3	4	5
Capacidade tampão de P **	271,4	186,4	885,0	620,3	389,1
pH em H <sub>2</sub> O (1: 2,5)	4,80	4,95	5,00	5,00	5,30
pH em KC1 1N	4,30	4,50	4,30	4,30	4,50
H <sup>+</sup> (eq. mg/100 g)	7,00	2,64	14,92	12,94	12,74
Al <sup>+++</sup> (eq. mg/100 g)	1,60	0,72	4,08	2,88	1,20
Ca <sup>++</sup> (eq. mg/100 g)	0,80	0,80	1,28	1,44	2,64
Mg <sup>++</sup> (eq. mg/100 g)	-	0,32	0,72	0,32	1,44
K <sup>+</sup> (eq. mg/100 g)	0,10	0,16	0,09	0,07	0,17
Na <sup>+</sup> (eq. mg/100 g)	0,30	0,46	0,26	0,28	0,32
S (eq. mg/100 g)	1,20	1,74	2,35	2,11	4,57
T (eq. mg/100 g)	9,80	5,10	21,35	17,93	18,51
V (%)	12,24	34,12	11,01	11,77	24,69
M.O. (%)	1,65	0,79	3,06	3,09	3,27
Argila (%)	27,00	14,00	53,00	56,00	59,00
Eq. Um. (%)	16,91	10,51	33,32	34,04	37,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) -Ataque sulfúrico	16,77	5,59	11,18	13,07	11,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%) -Ataque sulfúrico	16,06	8,03	27,92	30,22	26,40

\* Os solos 1, 2, 3, 4 e 5 correspondem, respectivamente, aos solos 1, 10, 6, 7 e 8, estudados por BAHIA FILHO (2), de onde foram retirados esses resultados.

\*\* Expresso em solos de P. 10<sup>-8</sup>/g de solo/unidade de potencial.

QUADRO 2 - Formas de p solúveis em cloreto de amônio, fluoreto de amônio, hidróxido de sódio sulfúrico para os solos não tratados e tratados com cloreto de potássio, citrato-bicarbonato-ditionito e oxalato de amônio. Médias de duas repetições (em ppm)

So-	NH <sub>4</sub> Cl				NH <sub>4</sub> F				NaOH				H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
	N. trat.	KCl	CDB	Oxalato	N. trat.	KCl	CDB	Oxalato	N. trat.	KCl	CDB	Oxalato	N. trat.	KCl	CDB	Oxalato
1	-	5,28	2,59	20,60	14,85	100,00	9,20	95,85	100,97	116,37	90,80	23,27	21,97	7,42	15,17	
2	-	5,28	2,97	14,85	9,20	34,30	5,50	46,75	61,12	41,93	46,75	9,35	10,98	3,67	5,52	
3	-	3,74	3,35	46,55	59,15	171,25	30,35	116,35	137,25	435,50	116,35	26,40	27,03	25,35	23,27	
4	-	6,86	4,48	100,00	100,00	204,75	50,70	324,85	338,10	561,25	244,00	49,98	49,06	36,17	38,37	
5	-	10,12	7,67	211,25	231,30	180,15	90,50	528,10	519,97	496,24	371,55	64,97	63,22	23,27	64,97	
Média	-	6,25	4,21	78,65	82,90	138,09	37,25	222,38	231,48	530,25	173,98	34,79	34,45	19,17	29,46	

redutoras que permitissem a solubilização das formas oclusas de fósforo (41, 42).

Quando as amostras de solos foram tratadas com ditionito de sódio, óxidos de ferro e oxalato de amônio, graças ao poder redutor destes reagentes, foram detectadas quantidades de fósforo sob a forma solúvel em cloreto de amônio. Os teores de ferro e de alumínio, obtidos na análise dos extratores, após os tratamentos com ditionito e oxalato, comprovam os fatos anteriormente expostos, Quadro 3.

Maior quantidade de fósforo solúvel em fluoreto de amônio  $\text{NH}_4\text{F}$  foi obtida após terem sido tratadas as amostras com ditionito de sódio, seguindo-se os tratamentos de cloreto de potássio 1N e o solo não tratado e, por último, o solo tratado com oxalato de amônio. Observa-se, ainda, que houve decréscimo das formas de fósforo solúvel em hidróxido de sódio nos solos tratados com oxalato de amônio em relação aos solos não tratados, (Quadro 2). Uma vez que esse tratamento extraiu ferro dos solos (Quadro 3), talvez uma parte do fósforo ligado a ferro, que era solúvel no hidróxido de sódio, tenha sido removida pelo oxalato de amônio, justificando, desta maneira, as reduções ocorridas.

Com relação às formas de fósforo solúvel em ácido sulfúrico de um modo geral, o tratamento com cloreto de potássio não causou redução nos teores desta forma de fósforo, o que se pode atribuir ao fato de o cloreto de potássio não ter removido o cálcio a que o fósforo está ligado, cuja forma é solúvel em ácido sulfúrico.

Nota-se uma redução nos teores das formas de fósforo solúvel em ácido sulfúrico para todos os solos tratados com ditionito de sódio em relação aos solos não tratados (Quadro 2). Naturalmente, isso é possível, tendo em vista que, segundo KHIN e LEEPER (29), o ácido sulfúrico, além de remover o fósforo ligado a cálcio, também dissolve considerável quantidade de fósforo solúvel em redutor. Desse modo, as formas de fósforo ligados a cálcio, determinadas pelo ácido sulfúrico nos solos não tratados, estão superestimados, por ser parte das formas que se acham também ligadas a óxidos de alumínio e ferro solúveis em redutor.

No Quadro 4, encontram-se dados referentes à superfície dos solos não tratados e dos solos tratados com  $\text{KCl}$  1N, CDB e oxalato de amônio.

Para os solos não tratados, a superfície específica variou de 14,40, no solo 2, até 52,52  $\text{m}^2/\text{g}$ , no solo 5. Valores próximos deste intervalo foram encontrados por outros pesquisadores (19).

De modo geral, a maior redução da superfície específica, entre os tratamentos, ocorreu para os solos tratados com ditionito de sódio, vindo, em seguida, o tratamento com cloreto de potássio, e por último, os solos tratados com oxalato de amônio. Observa-se que houve uma tendência para que as reduções dentro de um mesmo tratamento fossem proporcionais, para cada solo.

A grande redução verificada para os solos tratados com ditionito de sódio pode ser atribuída aos elevados teores de óxidos livres de ferro (Quadro 3), removidos por esse tratamento, assim, como à eliminação da matéria orgânica, como pré-tratamento ao ditionito de sódio. Segundo GROHMANN (19), a matéria orgânica, por apresentar um elevado grau de subdivisão, e os óxidos de ferro livres, por se apresentarem como partículas distintas com dimensões extremamente pequenas, contribuem para aumentar a superfície específica do solo.

A capacidade máxima de sorção de fósforo dos solos em estudo foi determinada após ajustar os dados de sorção à isoterma de Langmuir, na sua forma linear (Quadros 5 e 6).

Os dados dos valores da capacidade máxima de sorção obtidos (Quadro 6) apresentaram tendência para seguirem a seqüência dos valores da capacidade tampão desses solos (Quadro 1), quando estudados por BAHIA FILHO (2).

Em relação aos tratamentos de cloreto de potássio, ditionito de sódio e oxalato de amônio a que os solos foram submetidos, observa-se que, em muitos casos, esses tratamentos reduziram a capacidade de sorção de fósforo. De modo geral, observa-se que o oxalato de amônio foi o tratamento que proporcionou maiores reduções, o que concorda com os resultados encontrados por SYERS *et alii* (37). Ocorre isto, porque este tratamento remove, principalmente, os óxidos amorfos de alumínio e ferro do solo, os quais, segundo esses autores (37) e SAUNDERS (35), são compostos muito ativos de fósforo no solo. Acredita-se, ainda, segundo SAUNDERS (35), que o oxalato de amônio também extraí alumínio e ferro associado à matéria orgânica no complexo gel, composto que também toma parte nos processos de retenção de fósforo, (41).

Pelos dados do Quadro 6, observa-se, também, que houve decréscimo nos valores da energia de retenção nos solos que foram tratados com o oxalato de amônio e com o ditionito de sódio, sugerindo que o material removido por esses tratamentos foi muito importante na sorção do fósforo. No solo 5, por exemplo, quando tratado

QUADRO 3 - Valores de fósforo, alumínio e ferro nos extratos após os tratamentos com cloreto de potássio, citrato-ditionito-bicarbonato

Sólos	P (ppm)			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)			Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
	KCl	CDB	Oxalato	KCl	CDB	Oxalato	KCl*		
							(ppm)	CDB (%)	Oxalato (%)
1	-	165,55	6,06	-	4,93	0,11	17	1,11	3,20
2	-	102,39	6,46	-	2,53	0,04	17	0,55	1,22
3	-	136,69	8,48	-	4,59	0,11	17	1,07	11,18
4	-	150,29	8,07	-	4,41	0,14	17	1,18	8,13
5	-	436,59	6,86	-	3,21	0,06	17	1,32	8,51

\* Este valor de alumínio no extrato de KCl corresponde a 0,1 eq. mg de Al<sup>+++</sup>/100 g de solo.

QUADRO 4 - Superfície específica ( $m^2/g$  de solo) dos solos não tratados e dos solos tratados com cloreto de potássio, citrato-ditionito-bicarbonato e oxalato de alumínio

Solos	Não tratado	Tratamentos		
		KCl	CDB	$NH_4C_2O_4$
1	23,62	4,79	4,15	11,10
2	14,40	4,03	4,49	7,31
3	42,88	16,55	8,40	24,51
4	48,59	14,38	8,21	23,88
5	52,52	18,84	14,07	23,16

com ditionito, a energia de retenção foi reduzida aproximadamente a 1/10 de seu valor obtido para o solo não tratado.

Com os solos tratados com cloreto de potássio ocorreu aumento nos valores da energia de retenção, o que se pode atribuir a uma diminuição da efetividade das cargas negativas na camada difusa da superfície do solo pela adição do potássio (39).

Os valores da capacidade máxima de sorção, para os solos não tratados, obedeceram à seguinte ordem: solo 5, solo 3, solo 4, solo 1, solo 2. Esta ordem pode ser explicada por meio dos elevados coeficientes de correlação obtidos entre a capacidade máxima de sorção (Quadro 7) e os teores de matéria orgânica, argila, equivalente de umidade, formas de alumínio (alumínio total, alumínio — CDB e alumínio — oxalato) e superfície específica, indicando, assim, que houve tendência para que esses parâmetros contribuíssem positivamente para a sorção de fósforo. Resultados semelhantes foram encontrados por outros pesquisadores (12, 14, 28, 31, 35, 37).

Pelos resultados de correlação (Quadro 7), observa-se que todas as formas de alumínio estudadas nos solos mostraram altos valores dos coeficientes de correlação com a capacidade máxima de sorção de fósforo.

Isso vem reforçar a hipótese de que a sorção, quando se adicionaram fosfatos solúveis ao solo, verifica-se principalmente pelos compostos de alumínio (7).

A relação entre a sorção de fosfato e a superfície específica do solo também foi encontrada por OLSEN e WATANABE (31) e SANTANA (34). A relação existente entre a sorção de fósforo e o equivalente de umidade pode ser considerada pela relação que apresentam com a superfície específica, uma vez que, segundo Sá Jr. et alii (33), a retenção de umidade é uma função da superfície específica. Realmente, os dados do presente estudo (Quadro 8) comprovam esta dependência do equivalente de umidade com a superfície específica, dando um coeficiente de correlação altíssimo,  $r = 0,99^*$ .

Relacionando a superfície específica com a capacidade máxima de sorção, pode-se determinar a área disponível para cada íon  $PO_4^{3-}$  sorvido, como se vê no Quadro 9. Como a área disponível para uma molécula de  $PO_4^{3-}$  na superfície dos solos aqui estudados, em todos os tratamentos, é superior à área ocupada por este íon na hidroxiapatita, sugere que a sorção de  $PO_4^{3-}$  nesses solos ocorre em camadas monomoleculares. Tal conclusão coincide com a que foi feita por OLSEN e WATANABE (31).

#### 4. RESUMO

Submeteram-se amostras de cinco Latossolos Vermelho-Escuros de características físicas e químicas diferentes, especialmente no relacionamento com o poder-

QUADRO 5 - Equações lineares ajustadas pela isoterma de Langmuir com os dados de fósforo sorvido nos solos em estudo

Solo	Não tratado			Tratado com KC1			Tratado com CDB			Tratado com oxalato		
	Equações	R <sup>2</sup>	Equações	R <sup>2</sup>	Equações	R <sup>2</sup>	Equações	R <sup>2</sup>	Equações	R <sup>2</sup>	Equações	R <sup>2</sup>
1	$Y = 1,45 + 1,24X$	92,1**	$Y = 0,80 + 1,26X$	92,1**	$Y = 2,84 + 1,47X$	92,1**	$Y = 11,85 + 1,53X$	70,5**				
2	$Y = 6,27 + 2,38X$	94,0**	$Y = 3,75 + 2,23X$	96,0**	$Y = 21,64 + 2,87X$	82,8**	$Y = 42,44 + 6,25X$	90,2**				
3	$Y = 0,16 + 1,11X$	67,2**	$Y = 0,16 + 1,11X$	73,9**	$Y = 3,04 + 1,41X$	75,6**	$Y = 19,87 + 2,06X$	72,2**				
4	$Y = 0,19 + 1,17X$	72,2**	$Y = 0,11 + 1,05X$	86,4**	$Y = 0,89 + 1,05X$	67,2**	$Y = 25,03 + 2,07X$	64,0**				
5	$Y = 0,46 + 1,09X$	70,5**	$Y = 0,14 + 1,22X$	79,2**	$Y = 19,11 + 5,57X$	75,6**	$Y = 18,39 + 2,24X$	75,6**				

(\*\*) - Significativo, ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 6 - Capacidade máxima de sorção de fósforo (mg de P/g de solo) e constante relacionada com a energia de retenção ( $\text{ppm}^{-1}$ ) nos solos não tratados e tratados com cloreto de potássio, citrato-ditionito-bicarbonato e oxalato de amônio

Solo	Não Tratado		Tratado com KC1		Tratado com CDB		Tratado com oxalato	
	Capaci- dade	Energia Retenção	Capaci- dade	Energia Retenção	Capaci- dade	Energia Retenção	Capaci- dade	Energia Retenção
1	0,8063	0,84	0,7899	1,56	0,6762	0,52	0,6504	0,12
2	0,2401	0,37	0,4482	0,59	0,3477	0,13	0,1599	0,14
3	0,8994	6,56	0,8966	6,84	0,7086	0,46	0,4849	0,10
4	0,8524	6,10	0,9476	9,30	0,9046	1,23	0,4814	0,68
5	0,9152	2,36	0,8183	8,69	0,1792	0,29	0,4454	0,12

QUADRO 7 - Correlação entre a capacidade máxima de sorção dos solos não tratados e algumas variáveis do solo

Variáveis	Coeficiente de Correlação (r)
Matéria orgânica	0,90*
Argila	0,87
Equivalente de umidade	0,85
Alumínio total	0,88*
Alumínio - CDB	0,96*
Alumínio - Oxalato	0,80
Ferro total	0,69
Ferro - CDB	0,65
Ferro - Oxalato	0,61
Fósforo - CDB	0,49
Fósforo - Oxalato	0,47
Superfície específica	0,84
Superfície específica+	0,39

\* - Significativo, ao nível de 5% de probabilidade.

(+) - Refere-se à superfície específica de todos solos não tratados e tratados.

QUADRO 8 - Correlação entre a superfície específica dos solos não tratados e algumas variáveis do solo

Variáveis	Coeficiente de Correlação (r)
Matéria orgânica	0,98*
Argila	0,99*
Equivalente umidade	0,99*
Alumínio total	0,95*
Alumínio - CDB	0,84
Alumínio - Oxalato	0,86
Ferro total	0,27
Ferro CDB	0,25
Ferro - Oxalato	0,41

(\*) - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

tampão de fósforo, aos tratamentos de cloreto de potássio, ditionito de sódio e oxalato de amônio, para remoção do alumínio trocável, óxidos livres de ferro e óxidos amorfos de alumínio e ferro, respectivamente, com o objetivo de estudar a influência de alguns fatores na sorção de fósforo no solo.

No extrato do solo, depois de cada um desses tratamentos, determinaram-se o alumínio, ferro e fósforo removidos do solo.

Estimou-se a capacidade máxima de sorção de fósforo pela equação de Lang-

QUADRO 9 - Área ( $\text{\AA}^2$ ) disponível para cada íon  $\text{PO}_4^{3-}$ 

Solos	Tratamentos			
	N. Trat.	KC1	CDB	$\text{NH}_4\text{C}_2\text{O}_4$
1	149,5	31,1	31,4	87,4
2	175,6	46,3	66,0	235,8
3	243,6	94,5	60,8	258,0
4	290,9	98,1	46,3	254,0
5	293,4	117,7	402,0	266,2

muir, e determinou-se a superfície específica. Fez-se o fracionamento de fósforo inorgânico nas amostras dos solos não tratados, bem como nos submetidos aos tratamentos mencionados.

Por último, procurou-se estabelecer relação da capacidade máxima de sorção de fósforo e da superfície com alguns parâmetros do solo.

Após a remoção dos óxidos amorfos de alumínio e ferro pelo oxalato de amônio, verificaram-se consideráveis reduções na capacidade máxima de sorção de fosfato, dos solos estudados. Resultados semelhantes, porém, com menos intensidade, ocorreram depois da extração dos óxidos livres de ferro pelo ditionito de sódio. Por outro lado, a remoção do alumínio trocável pelo cloreto de potássio pouco alterou a intensidade dos processos de sorção de fosfato.

### 3. SUMMARY

The objective of this work was to study the influence of some factors on the sorption of phosphorus in five Dark Red Latosols having different physical and chemical characteristics, especially in relation to the buffer capacity of phosphorus.

Samples of these soils were submitted to treatments with potassium chloride, sodium dithionite and ammonium oxalate in order remove exchangeable aluminum, free iron oxides and amorphous oxides of aluminum and iron, respectively. The aluminum, iron and phosphorus were determined in the soil extract for each of the above treatments.

The Langmuir equation was used to estimate the maximum capacity or sorption by phosphorus. The specific surface was determined, and fractionation of inorganic phosphorus was done for samples treated with reagents as well as untreated samples.

The study sought to establish some relation between some soil parameters and specific surface and the maximum sorption capacity of phosphorus.

Considerable reductions of the maximum buffer capacity of phosphorus, were observed after the removal of amorphous oxides of aluminum and iron with ammonium oxalate. Similar results were observed when the free iron oxides were removed by sodium dithionite, but to a lesser extent.

On the other hand, the removal of exchangeable aluminum by potassium chloride altered slightly the intensity of the processes of phosphate sorption.

### 6. LITERATURA CITADA

1. AHENKOROAH, Y. Phosphorus — retention capacities of some coca growing soil of Chang and their relationship with soil properties. *Soil Sci.*, 105(1):24-30, 1968.
2. BAHIA FILHO, A. F. C. Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo «disponível» e cresci-

- mento vegetal. Viçosa, Imprensa Universitária, 1974. 69 p. (Tese M.S.).
3. BRAGA, J. M. Adaptação do método de fracionamento a trabalhos de rotina. Trabalho apresentado na 8.ª Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo, Itabuna, 1972.
  4. BRAGA, J. M. & DEFELIPO, B. V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em estratos de solos e planta. *Rev. Ceres*, 21(113):73-85, 1975.
  5. BUCKMAN, H. O. & BRANDY, N. C. *Natureza e propriedades dos solos*. 3 ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1974, 594 p.
  6. CATANI, R. A. A fixação de fósforo por alguns solos do Brasil e adubação fosfatada. *Rev. Agronômica*, Lisboa, 52(1/2):83-87, 1969.
  7. CHANG, S. C. & CHU, W. K. The fate of soluble phosphate applied to soils. *J. Soil Sci.*, 12(2):286-293, 1961.
  8. CHANG, S. C. & JACKSON, M. L. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Sci.* 84(2):133-144, 1957.
  9. CHANG, S. C. & JACKSON, M. L. Soil phosphorus fractions in some representative soils. *J. Soil Sci.*, 9(1):109-119, 1958.
  10. COLEMAN, R. The mechanism of phosphate fixation by montmorillonitic and kaolinitic clays. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 9: 72-78, 1944.
  11. COLEMAN, N. T.; THORUP, J. T. & JACKSON, W. A. Phosphate sorption that involve exchangeable Al. *Soil Sci.*, 90(1):1-7, 1960.
  12. DEAN, L. A. & RUBINS, E. J. Anion exchange in soils: I. Exchangeable phosphorus and anion — exchange capacity. *Soil Sci.*, 63(5):377-387, 1947.
  13. FASSBENDER, H. W. La adsorción de fosfatos en suelos fuertemente ácidos y su evaluación usando la isoterma de Langmuir. *Fitotecnia Latinoamericana*, 3 (1/2):203-216. 1966.
  14. FASSBENDER, H. W. Phosphorus fixation in tropical soils. *Agri Digest*, 18: 20-28, 1969.
  15. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate: 1. Preliminary studies on non-soil systems. *Soil Sci.*, 87(1):13-21, 1969.
  16. FIFE, C. V. An evaluation of ammonium fluoride as a selective extractant for aluminum-bound soil phosphate: 2. Preliminary studies on soils. *Soil Sci.*, 87(1): 83-88, 1959.
  17. FRANKLIN, W. T. & REISENAUER, H. M. Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability. *Soil Sci.*, 90(3):192-200, 1960.
  18. GOMES, F. P. *Curso de estatística experimental*. 3 ed. Piracicaba, Inst. Genética, 1966. 404 p.
  19. GROHMAN, F. Superfície específica. In: MONIZ, A. C. *Elementos de pedologia*. São Paulo, Uniersidade de São Paulo, 1972. 111-122.
  20. HASEMAN, J. F.; BROWN, E. H. & WHITT, C. D. Some reactions of phosphate with clays and hidrous oxides of iron and aluminum. *Soil Sci.*, 100(6):409-413, 1965.
  21. HEILMAN, M. D.; CARTER, D. L. & GONZALEZ, C. L. The ethylene glycol monoethyl ether (EGME) technique for determining soil — surface area. *Soil Sci.*, 100(6):409-413, 1965.

22. HEMTWALL, J. B. The fixation of phosphorus by soils. *Adv. in Agronomy*, 9:95-112, 1957.
23. HSU, P. H. Fixation of phosphate by aluminum and iron in acidic soils. *Soil Sci.*, 99(6):398-402, 1965.
24. HSU, P. H. & JACKSON, M. L. Inorganic phosphate transformation by chemical weathering in soils as influenced by pH. *Soil Sci.*, 90(1):16-24, 1960.
25. IBM, International Business Machines. *1130 statistical system (1130 - 06X)*; user's manual. New York, 1967. 118 p.
26. JACKSON, M. L. *Soil chemical analysis; advanced course*. Madison, University of Wisconsin, 1956. 894 p.
27. JORGE, J. A. Fósforo. In: MONIZ, A. C. *Elementos de Pedologia*, São Paulo Universidade de São Paulo, 1972. p. 191-197.
28. KANWAR, J. S. Phosphate retention in some Australian soils. *Soil Sci.*, 82(1): 43-50, 1956.
29. KHIN, A. & LEEPER, G. W. Modification in Chang and Jacksos procedure for fractionating soil phosphorus. *Agrochimica*, 4(3):246-254, 1960.
30. LUNDBLAD, K. Studies on podzols and brown forest soils. *Soil Sci.*, 37(1):137-155, 1934.
31. OLSEN, S. R. & WATANABE, F. S. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Sci. Amer. Proc.*, 21(2):144-149, 1957.
32. OLSON, R. V. Iron. In: BLACK, C. A. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p. 963-973.
33. SÁ JR., J. P. M.; GOMES, I. F. & VASCONCELOS, A. L. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesq. Agropec. Bras.* 3:183-188, 1968.
34. SANTANA, D. P. *Estudo de solos do Triângulo Mineiro e Viçosa: 1. Mineralogia; 2. Adsorção de fosfatos*. Viçosa, Imprensa Universitária, 1973, 56 p. (Tese M.S.).
35. SAUNDERS, W. M. H. Phosphate retention by New Zeland soils and its relationship to free sesquioxides, organic matter, and other soil properties. N. Z. J. Agric. Res. 8(1):30-57 1965.
36. SHUKLA, S. S.; SYKES, J. K.; WILLIAMS, J. D. H.; ARMSTRONG, D. E.; HARRIS, R. F. Sorption of inorganic phosphate by lake sediments. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 36(2):244-249, 1971.
37. SYERS, J. K.; EVANS, T. D.; WILLIAMS, J. D. J. & MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.* 112(4):267-275, 1971.
38. VASCONCELLOS, C. A. *Fósforo em dois latossolos do Estado de Mato Grosso: Adsorção, dessorção e crescimento vegetal*, Viçosa, 1974, 103 p. (Tese M.S.).
39. VETTORI, L. *Métodos de análise do solo*. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24 p. (Bol. Téc., 7).
40. VOLKWEISS, S. J. *Factores affecting phosphate sorption by soils and minerals*, Wisconsin, 1973. 138 p. (Ph.D. Thesis).
41. YUAN, T. L. Determination of exchangeable hydrogen in soil by a titration methods. *Soil Sci.* 88(2):164-167, 1959.

42. YUAN, T. L. Some relationships among hydrogen, aluminum, and pH in solution and soil systems. *Soil Sci.*, 95(2):155-163, 1963.