

Maio e Junho de 1985

VOL. XXXII

N.º 181

Viçosa — Minas Gerais

UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**ÍNDICE DE SORÇÃO DE FÓSFORO: ISOTERMAS,
CAPACIDADE TAMPÃO E SORÇÃO DE
PONTO ÚNICO^{1/}**José Maria do Amaral Resende ^{2/}José Mário Braga ^{3/}Flávio de Araújo Lopes do Amaral ^{3/}**1. INTRODUÇÃO**

Durante muitos anos, os conceitos emitidos por BRAY (8) sobre a análise química dos solos e, de modo especial, sobre a disponibilidade de fósforo e de potássio foram a base para as recomendações de adubação, com o objetivo de aumentar a produção agrícola.

Os extratores químicos utilizados para dosar o fósforo disponível quantificam todo o fator intensidade (P-solução) e parte do fator quantidade (P-solo), e a quantidade dosada depende de características do extrator e do solo, bem como da extração (1, 4, 9, 30).

Entretanto, com o desenvolvimento de novas pesquisas, os conhecimentos evidenciaram que os valores obtidos com os extratores químicos não correspondiam ao real estado de fósforo no solo, sendo necessária a inclusão de parâmetros físico-químicos que descreveriam com maior exatidão o estado do elemento. Essas pesquisas levaram à introdução dos conceitos, entre outros, de adsorção máxima e capacidade tampão de fósforo (3, 4, 6, 14, 19, 25, 30).

^{1/} Parte da tese do primeiro autor, para a obtenção do título de M.S. em Solos e Nutrição de Plantas, na Universidade Federal de Viçosa.

Recebido para publicação em 29-10-1984.

^{2/} Escola Superior de Agricultura de Machado. 37750 Machado, MG.

^{3/} Departamento de Solos da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

Esses conceitos têm sido usados com o objetivo de diminuir os insucessos nas recomendações de adubação fosfatada, dando ênfase às pesquisas relacionadas com as isotermas de Langmuir e Freundlich (24, 30, 35) e com a capacidade tampão de fósforo (4, 5, 14, 16).

Entretanto, a premissa da presença de uma única superfície de adsorção, quando se trabalha com a isoterma de Langmuir, não tem sido totalmente evidenciada, sendo, hoje, aceita a ocorrência de mais de uma superfície de adsorção, de naturezas diferentes (2, 20, 22, 23, 27). Em consequência disso, têm surgido técnicas para determinar tanto o valor da capacidade máxima de adsorção como o da energia de adsorção em cada uma das superfícies (15). Com o uso de uma ou mais superfícies de adsorção, os parâmetros obtidos têm sido muito usados em trabalhos de fertilidade do solo.

Apesar do progresso que essas determinações trouxeram para a avaliação do fósforo no solo, a difusão de seu uso ficou bem limitada, pois a metodologia usada, por ser mais refinada, não permite seu uso generalizado. Em consequência, foram iniciados novos estudos, aproveitando os conhecimentos adquiridos. Os trabalhos de BACHE e WILLIAMS (3), BECKETT e WHITE (7), DELAZARI (12), HOLFORD e MATTINGLY (15) e OZZANE e SHAW (28) tiveram a preocupação especial de estudar o uso de sorção de ponto único, significando o fósforo remanescente ou em equilíbrio na solução após a adição de uma quantidade conhecida desse elemento. Essa técnica tem sido largamente usada nas pesquisas com fósforo e os valores obtidos são citados na literatura como índices, sempre relacionados com o nome do pesquisador que o usou pela primeira vez, como índice de Ozzane e Shaw, índice de Fox, índice de Bache e Williams e muitos outros.

Os valores que exprimem o «status» de fósforo no solo mudam de magnitude, conforme a presença e quantidade de alumínio trocável, sesquióxidos de ferro e de alumínio (10, 11, 12, 13, 29, 33).

Os objetivos do presente trabalho foram obter dados sobre sorção de fósforo em amostras de solo e verificar a influência do alumínio trocável, dos óxidos amorfos de ferro e de alumínio e dos óxidos livres de ferro e de alumínio sobre os valores dos parâmetros das isotermas de adsorção e da capacidade tampão de fósforo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizaram-se amostras superficiais, coletadas à profundidade de 0 - 20 cm, de cinco solos do Estado de Minas Gerais, disponíveis no Banco de Solos do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. A classificação, a procedência e algumas características físicas e químicas das amostras encontram-se nos Quadros 1 e 2.

Amostras de cada um dos solos estudados, com três repetições, foram tratadas com cloreto de potássio, oxalato de amônio e citrato-bicarbonato-ditionito de sódio (CBD), utilizando-se as metodologias descritas por VETTORI (36), LUNDLAD (21) e JACKSON (17), respectivamente.

Nas amostras tratadas e nas não tratadas, depois de passadas em peneiras de 60 mesh, determinou-se a adsorção máxima, segundo OLSEN e WATANABE (27), a isoterma de adsorção em duas superfícies, com o uso do método de NELSON e ANDERSON (25) para separar as duas populações, e a capacidade tampão máxima, com o uso da metodologia de HOLFORD e MATTINGLY (15), dentro das concentrações de 0 a 60 ppm de fósforo. Essas concentrações de fósforo foram também usadas para determinar os parâmetros de Freundlich.

QUADRO 1 - Classificação e procedência dos solos utilizados

Classe do solo	Símbolo	Procedência
Latossolo Vermelho-Escuro, Distrófico, textura média	LEdm	Capinópolis-MG
Latossolo Roxo Distrófico	LRd	Capinópolis-MG
Latossolo Vermelho-Amarelo, Distrófico, textura argilosa	LVd	Capinópolis-MG
Latossolo Vermelho-Escuro, Distrófico, fase cerrado	LEd	Sete Lagoas-MG
Latossolo Vermelho-Escuro, Câmbico, álico	LEca	Sete Lagoas-MG

QUADRO 2 - Algumas características químicas e físicas dos solos utilizados (*)

	LEdm	LRd	LVd	LEd	LEca
pH em água (1:2,5)	4,8	4,9	4,4	4,5	4,7
Al ⁺⁺⁺ (meq/100cc solo) ^{1/}	0,7	0,4	0,2	2,3	3,2
Ca ⁺⁺ (meq/100cc solo) ^{1/}	0,28	0,24	0,12	0,16	0,28
Mg ⁺⁺ (meq/100cc solo) ^{1/}	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Fósforo (ppm) ^{2/}	0,6	0,5	0,3	0,9	1,4
Potássio (ppm) ^{2/}	12,6	22,0	21,0	24,0	34,0
Areia grossa (%) ^{3/}	48,0	10,0	11,0	4,0	5,0
Areia fina (%) ^{3/}	32,0	18,0	1,0	18,0	16,0
Silte (%) ^{3/}	1,0	35,0	30,0	16,0	16,0
Argila (%) ^{3/}	19,0	37,0	58,0	63,0	62,0

(*) Análise feita no Laboratório de Solos da UFV.

1/ Extrator: KCl 1 N.

2/ Extrator: Mehlich 1.

3/ Método de Pipeta.

n.d. = Não detectado.

Nas mesmas condições, também foi determinado o índice de Ozzane e Shaw, segundo a metodologia de OZZANE e SHAW (28), correspondente ao fósforo adsorvido na concentração de equilíbrio de 0,3 ppm de P no solo. Além desse, foram determinados outros índices, considerando tempos de agitação de duas e vinte e quatro horas e concentrações de fósforo de 10, 30 e 60 ppm de P em solução de CaCl_2 0,01 M adicionada a 2,5 g de solo (Quadro 3), na relação solo: solução de 1:10.

As variações nos valores dos parâmetros usados foram relacionadas, sempre se referindo aos valores encontrados nas amostras de solos não tratadas.

QUADRO 3 - Índices de sorção de ponto único para diferentes concentrações de fósforo e tempos de agitação

Índice	Concentração de P adicionada	Tempo agitação	Índice considerado
	ppm	Horas	Pe
IS ₁	10	2	Pe
IS ₂	10	24	Pe
IS ₃	30	2	Pe
IS ₄	30	24	Pe
IS ₅	60	2	Pe
IS ₆	60	24	Pe
IS ₇	10	2	Pad/Pe
IS ₈	10	24	Pad/Pe
IS ₉	30	2	Pad/Pe
IS ₁₀	30	24	Pad/Pe
IS ₁₁	60	2	Pad/Pe
IS ₁₂	60	24	Pad/Pe
IS ₁₃	10	2	Pad/log Pe
IS ₁₄	10	24	Pad/log Pe
IS ₁₅	30	2	Pad/log Pe
IS ₁₆	30	24	Pad/log Pe
IS ₁₇	60	2	Pad/log Pe
IS ₁₈	60	24	Pad/log Pe

Pad - Fósforo adsorvido.

Pe - Concentração de fósforo na solução de equilíbrio.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores da capacidade máxima de adsorção de fósforo, para os solos e tratamentos estudados, encontram-se no Quadro 4, após ajustamento dos dados à equação de Langmuir, na sua forma linear. Os valores variaram de 0,2324 (solo LEdm) a 0,7024 mg de P/g de solo (solo LVd). O solo LEdm tem o menor teor de argila e o LVd teor bem elevado, embora não o maior (Quadro 2). A variação da capacidade máxima de adsorção conforme o teor de argila foi também observada por outros pesquisadores (10, 12, 17, 32). Embora tenha o maior teor de argila, o LEca não tem o maior valor de capacidade máxima. A razão dessa discrepância estaria na qualidade da argila, como sugerido por BAHIA FILHO (5).

Os valores da capacidade máxima de adsorção de fósforo variaram conforme o tipo de solo e o tratamento a que foi submetido (Quadro 4). No caso do tratamento com KCl, observou-se redução menor do que as observadas nos demais tratamentos. Por sua vez, o valor da diminuição não se relacionou, estequiométricamente, com os teores de alumínio trocável do solo, fato também observado por SÁ JR. *et alii* (31).

As maiores reduções ocorreram com o tratamento com oxalato de amônio, que chegou a reduzir até 80,5% da capacidade máxima de adsorção de fósforo, e evidenciam a importância dos óxidos amorfos de ferro e de alumínio, além do alumínio e do ferro associados à matéria orgânica, na formação do complexo gel. Resultados semelhantes foram obtidos por SYERS *et alii* (34) e FARIA (13).

Entretanto, no tratamento com CBD observou-se pouca variação na capacidade máxima de adsorção no LVd e até aumento desse valor no LRD e no LED. Possivelmente, no caso do LVd, o tratamento com CBD removeu também formas cristalinas, de pouca reatividade na sorção de fósforo (32, 33). Já para os solos LRD e LED a hipótese é a presença de alumossilicatos amorfos após a redução de ferro III. Observaram-se variações também na constante de energia (Quadro 5).

Vale mencionar que no LVd e no LEca a constante de energia de adsorção aumentou nas amostras tratadas com KCl, possivelmente em razão do aumento da concentração de cationtes, fato também observado por VOLKWEISS (37).

Como os dados de adsorção de fósforo caracterizaram bem duas regiões, foi calculada, para cada uma delas, a adsorção máxima nos solos não tratados e nos solos tratados com KCl, oxalato e CBD (Quadro 6).

Todos os solos não tratados, à exceção do LVd, bem como a maioria dos solos tratados, apresentaram duas superfícies distintas de adsorção de fósforo.

O fato de dados do LVd não terem apresentado ajustamento à isoterma de Langmuir na segunda região pode ser creditado ao alto teor de argila e aos altos teores de materiais adsorventes presentes no tipo de argila desse solo (Quadros 2 e 4). Dessa forma, as concentrações de fósforo adicionadas ao solo foram insuficientes para que se pudesse caracterizar a segunda região.

Verifica-se que tanto os valores da capacidade máxima de adsorção de fósforo na segunda região como os valores da constante de energia de adsorção na primeira região foram maiores do que os valores obtidos quando considerada toda a faixa de concentração utilizada (Quadro 6).

Na primeira região, a capacidade máxima de adsorção de fósforo decresceu conforme os tratamentos utilizados e, na segunda, os decréscimos foram observados principalmente na energia de adsorção, evidenciando mudança no potencial eletrostático do solo, em consequência da remoção de materiais adsorventes pelos tratamentos.

Também os valores da capacidade tampão de fósforo variaram, tanto entre os

QUADRO 4 - Capacidade máxima de adsorção e percentagem de redução da capacidade máxima de adsorção nas amostras de solos não tratados e tratados com KCl, oxalato de amônio e citrato-bicarbonato-ditionito de sódio (CBD)

Solos	Capacidade máxima de adsorção			Percentagem de redução da adsorção máxima		
	Não tratado	Tratado	Tratado	KCl	Oxalato	CBD
mg P/g solo						
LEdm	0,2324	0,1721	0,0453	n.d.	25,9	80,5
LRd	0,6382	0,6028	0,5478	0,9658	5,5	14,1
LVd	0,7024	0,6194	0,5426	0,5476	11,8	22,7
LEd	0,4807	0,4752	0,3441	0,9683	1,1	28,4
LEca	0,6990	0,6162	0,4094	n.d.	11,8	41,4
%						

n.d. = Não detectado.

QUADRO 5 - Constante de energia de adsorção na primeira e na segunda região, nos diversos solos e tratamentos

Solos	Não tratados		Tratamento		Tratados		CBD	
	Primeira	Segunda	KCl		Oxalato			
			Primeira	Segunda	Primeira	Segunda		
ppm ⁻¹								
LEdm	1,4741	0,0513	0,6583	0,0724	n.d.	n.d.	n.d.	
LRd	5,6694	3,2194	n.c.	n.d.	7,8615	0,4286	n.d.	
LVd	3,4580	n.d.	6,1600	1,3096	1,9105	0,4482	5,2985	
LED	3,6496	0,4838	5,6213	0,2854	1,3811	0,2341	n.d.	
LEca	2,9108	1,1898	7,5041	1,7507	2,4082	0,0902	n.d.	

QUADRO 6 - Capacidade máxima de adsorção na primeira e na segunda região, nos diversos solos e tratamentos

Solos	Não tratados		Tratamento		Tratados		mg P/g solo	
	Primeira	Segunda	KC1		CBD			
			Primeira	Segunda	Primeira	Segunda		
LEdm	0,1548	0,3613	0,1426	0,2241	n.d.	n.d.	n.d.	
LRd	0,5706	0,6830	n.d.	n.d.	0,2722	0,8435	n.d.	
LVd	0,7278	n.d.	0,5285	0,8703	0,3570	0,6904	0,3620	
LEd	0,3782	0,5650	0,3302	0,6393	0,2804	0,3952	n.d.	
LEca	0,5733	0,7700	0,4877	0,7707	0,1844	0,6004	n.d.	

n.d. = Não detectado.

solos como entre os tratamentos a que foram submetidos, tanto na primeira como na segunda região (Quadro 7). À exceção do tratamento com KCl, em alguns solos, os demais tratamentos propiciaram redução na capacidade tampão, e o tratamento com oxalato de amônio foi o que propiciou maiores reduções.

Obtiveram-se coeficientes de correlação significativos entre a capacidade tampão, calculada para cada uma das superfícies de adsorção, e a capacidade máxima de adsorção (0,777** e 0,571*, respectivamente, para a primeira e segunda região), parâmetros calculados pela isoterma de Langmuir, quando se utilizou toda a faixa de concentração estudada. O fato era previsível, partindo do princípio de que a capacidade tampão é a integração dos componentes da adsorção de natureza intensiva (energia de adsorção) e de natureza extensiva (adsorção máxima) (16).

Além dos parâmetros da isoterma de Langmuir, os dados de adsorção foram ajustados à isoterma de Freundlich para a determinação da constante K. Os valores encontrados mostraram tendências semelhantes às encontradas com a isoterma de Langmuir e variaram conforme os solos e tratamentos testados (Quadro 8). Os coeficientes de correlação entre os valores de K e a capacidade tampão, na primeira e na segunda região, foram de 0,900** e 0,943**, respectivamente.

O índice de sorção, proposto por OZZANE e SHAW (28), decresceu, na maioria dos solos, após os tratamentos efetuados nas amostras de solo (Quadro 9). Apenas no LE_d o índice aumentou após o tratamento com CBD. Com o tratamento com oxalato de amônio ocorreram os maiores decréscimos, que variaram de 69% (LEdm) até 13% (LEca). Fica ressaltada a importância do papel dos óxidos amorfos de ferro e de alumínio no fenômeno de adsorção de fósforo.

Os índices de sorção de ponto único estudados antes e depois dos tratamentos com cloreto de potássio, oxalato de amônio e citrato-bicarbonato-ditionito de sódio correspondem ao fósforo na solução de equilíbrio, considerando diferentes tempos de agitação. Nos Quadros 10 e 11 estão os resultados obtidos quando se aplicaram 60 ppm em duas e vinte e quatro horas. Os resultados obtidos com outras concentrações e com tempos diferentes (Quadro 3) tiveram a mesma tendência. A concentração de fósforo na solução de equilíbrio reflete o fósforo adsorvido e é semelhante, segundo BAHIA FILHO (5), ao conceito, de BECKETT e WHITE (7), de fósforo na posição de troca livre.

Assim, o fósforo, nesses locais, juntamente com o fósforo retido na superfície e passível de troca isotópica, faria parte do fósforo lábil do solo. O fosfato, na posição de troca livre, pode ser trocado pelo OH⁻ ou por outros íons. A intensidade de cobertura nesses sítios é proporcional à atividade de H₂PO₄⁻ em solução.

Dessa maneira, o fosfato, nas posições de troca livres, estaria diretamente envolvido na reposição de fósforo na solução e constituiria um parâmetro da capacidade tampão de fósforo. Sendo um reflexo do fósforo adsorvido, a concentração de fósforo na solução de equilíbrio poderia ser também uma estimativa do fator quantidade. Essa proposição é também defendida por BAHIA FILHO (5).

Segundo BACHE e WILLIAMS (3), os índices assim obtidos não apresentariam diferenças entre si quando pequenas quantidades de fósforo fossem adicionadas, pois a capacidade de adsorção dos solos é constante e eles adsorveriam, sempre, o máximo. Outro fator que deverá ser considerado é a concentração inicial de fósforo no solo, sem o que se confundiriam comparações entre diferentes solos. Assim, os melhores índices seriam os provenientes da adição de maiores concentrações de fósforo.

Quando se tentou ordenar os solos pelo valor desses índices, apenas quando se aplicaram 60 ppm de fósforo foi mantida a mesma seqüência de valores obtidos com duas e 24 horas de agitação (Quadros 10 e 11). Nas outras concentrações

QUADRO 7 - Capacidade tampão na primeira e na segunda região, nos solos tratados e não tratados

Solos	Não tratados		Tratados					
	Primeira	Segunda	KCl		Oxalato		CBD	
			Primeira	Segunda	Primeira	Segunda	Primeira	Segunda
P x 10 ⁻⁸ mole/g solo/Unidade de potencial								
LEdm	228	18	94	16	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
LRd	3235	2199	n.d.	n.d.	2139	361	n.d.	n.d.
LVd	2516	1772	3255	1739	682	316	1918	371
LEd	1380	273	1856	182	387	92	n.d.	n.d.
LEca	1668	916	3659	1349	444	54	n.d.	n.d.

QUADRO 8 - Constante K da Isoterma de Freundlich, para solos tratados e não tratados

Solos	Não tratados	Tratados		
		KC1	Oxalato	CBD
LEdm	0,0771	0,0610	0,0306	n.d.
LRd	0,6040	0,4527	0,2894	0,7664
LVd	0,6408	0,5528	0,2580	0,2843
LEd	0,2688	0,2320	0,1235	0,5794
LEca	0,4407	0,5388	0,1198	n.d.

n.d. = Não detectado.

QUADRO 9 - Índice de Ozzane e Shaw (mg P/g de solo), para solos tratados e não tratados

Solos	Não tratados	Tratados		
		KC1	Oxalato	CBD
LEdm	0,0211	0,0153	0,0147	n.d.
LRd	0,3726	0,3194	0,1961	0,3236
LVd	0,3656	0,3588	0,1719	0,0752
LEd	0,1698	0,1661	0,0622	0,2732
LEca	0,2702	0,3661	0,0364	n.d.

n.d. = Não detectado.

(Quadro 3), nenhuma seqüência se repetiu. Quando se aplicaram 10 ppm de fósforo na amostra, os índices calculados nessa concentração tenderam a comportar-se de modo inverso ao dos demais índices, calculados em outras concentrações.

Os índices que resultam da divisão da concentração de fósforo adsorvido pela concentração de fósforo na solução de equilíbrio (Quadro 3) apresentaram correlação significativa com a capacidade máxima de adsorção, o que não aconteceu com a constante relacionada com a energia de adsorção (Quadro 12).

Por sua vez, os índices resultantes da divisão da quantidade de fósforo adsorvida pelo logaritmo da concentração de fósforo na solução de equilíbrio não foram

QUADRO 10 - Fósforo na solução de equilíbrio após duas horas de agitação, com a adição de 60 ppm de P, nos vários solos e tratamentos

Solos	Não tratados	Tratados		
		KC1	Oxalato	CBD
ppm				
LEdm	46,67	52,63	58,32	59,20
LRd	4,23	10,88	21,72	2,37
LVd	2,79	5,86	23,26	27,54
LEd	13,94	27,05	41,19	2,59
LEca	6,21	8,22	40,62	0,44

QUADRO 11 - Fósforo na solução de equilíbrio após 24 horas de agitação, com a adição de 60 ppm de P, nos vários solos e tratamentos

Solos	Não tratados	Tratados		
		KC1	Oxalato	CBD
ppm				
LEdm	36,60	43,55	57,40	45,85
LRd	1,68	1,94	3,67	1,12
LVd	1,19	1,52	6,60	6,08
LEd	11,50	11,07	26,42	0,78
LEca	2,38	1,77	20,46	n.d.

n.d. = Não detectado.

tão consistentes quanto os anteriores. Nesse caso, acredita-se que as concentrações de fósforo adicionadas não tenham sido as ideais para avaliar esses índices, em razão de os solos utilizados no presente trabalho adsorverem grandes concentrações de fósforo (Quadros 3 e 12).

QUADRO 12 - Coeficientes de correlação entre os diversos índices de sorção, capacidade máxima de sorção, capacidade máxima de adsorção, energia de adsorção e constante K da isoterma de Freundlich

Índice	C. máxima	Energia de adsorção	Constante K
Índice de Ozzane e Shaw	0,763**	0,854**	0,936**
Capacidade tampão na 1. ^a região	0,777**	0,891**	0,900**
Capacidade tampão na 2. ^a região	0,571*	0,901**	0,943**
Capacidade tampão máxima	0,734*	0,936**	0,958**
I S ₁	- 0,857**	- 0,377 ns	- 0,638*
I S ₂	- 0,836**	- 0,249 ns	- 0,540*
I S ₃	- 0,870**	- 0,559*	- 0,811**
I S ₄	- 0,812**	- 0,397 ns	- 0,657*
I S ₅	- 0,835**	- 0,671*	- 0,934**
I S ₆	- 0,952**	- 0,468*	- 0,806**
I S ₇	0,446 ns	0,77**	0,686*
I S ₈	0,708**	- 0,005 ns	0,653*
I S ₉	0,484*	0,447 ns	0,885**
I S ₁₀	0,557	- 0,166 ns	0,877**
I S ₁₁	0,531*	0,386 ns	0,879**
I S ₁₂	0,702**	0,518*	0,899**
I S ₁₃	- 0,560*	- 0,261 ns	- 0,477*
I S ₁₄	- 0,478*	- 0,216 ns	- 0,306 ns
I S ₁₅	- 0,357 ns	- 0,212 ns	- 0,328 ns
I S ₁₆	- 0,181 ns	- 0,026 ns	- 0,456 ns
I S ₁₇	0,632*	0,439 ns	0,919**
I S ₁₈	0,532	0,352 ns	0,549*

* Significativo a 5%.

** Significativo a 1%.

ns = Não-significativo.

4. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho teve o objetivo de estudar a influência do alumínio trocável, dos óxidos amorfos de ferro e de alumínio e dos óxidos livres de alumínio e de ferro sobre o processo de sorção de fósforo de solo.

Utilizaram-se amostras de cinco latossolos do Estado de Minas Gerais. Cada uma foi tratada com cloreto de potássio, com oxalato de amônio e com citrato de sódio — bicarbonato de sódio — ditionito de sódio. Nesses tratamentos e numa amostra não tratada foram determinados os parâmetros da isoterma de Langmuir,

a constante de K da isoterma de Freundlich e a capacidade tampão máxima, para uma e duas regiões de adsorção.

Também foi determinado o índice de sorção de fósforo, em dezoito diferentes situações, mas sempre combinando as concentrações de 10, 30 e 60 ppm com tempo de agitação de duas e vinte e quatro horas.

Concluiu-se que:

1) Os óxidos amorfos de ferro e de alumínio, extraídos pelo oxalato de amônio, foram os componentes mais ativos do processo de sorção de fósforo do solo.

2) A capacidade tampão máxima, como a soma algébrica das capacidades tampão calculadas em cada uma das superfícies de adsorção, apresentou correlação significativa com a capacidade tampão calculada com os dados ajustados a uma única superfície de adsorção.

3) A maioria dos índices de sorção do ponto único apresentou correlação significativa com a capacidade máxima de adsorção e com a constante K da isoterma de Freundlich.

4) Dentre os índices de sorção de ponto único estudados, os mais indicados parecem ser os provenientes da concentração de fósforo na solução de equilíbrio, com menores tempos de agitação e maiores concentrações de fósforo.

5) Os índices de sorção de ponto único revelaram-se promissores para a caracterização do estado de fósforo no solo, merecendo estudos mais minuciosos, visando à sua utilização no processo de recomendação de fertilização fosfatada.

5. SUMMARY

(INDEX OF PHOSPHORUS ADSORPTION: ISOTHERMS, MAXIMUM ADSORPTION CAPACITY, AND THE UNIQUE POINT OF ADSORPTION)

The purpose of this study was to obtain data about phosphorus adsorption using one concentration and time period of soil contact (the so-called unique point index).

Concentrations of 10, 30 and 60 ppm P were used and time periods of two and twenty-four hours. Soil samples were treated with KCl 1N, sodium citrate-bicarbonate-dithionite and ammonium oxalate.

After these treatments, parameters of Langmuir isotherms were determined by using an untreated sample. The maximum buffer capacity was also determined for two adsorption surfaces.

The results indicated:

1. Most of the unique point adsorption indices presented a significant correlation with the maximum adsorption capacity and the Freundlich K constant.
2. Among the unique point indices studied, the best seem to have obtained from the phosphorus concentration in the equilibrium solution, with a shorter time period of stirring and larger phosphorus concentration.
3. The unique point indices proved to be promising in the characterization of the phosphorus state in the soil; therefore, further studies should be conducted relative to their use in the process of suggested phosphated fertilization.

6. LITERATURA CITADA

1. ALMEIDA NETO, J.X. *Caracterização das formas de fósforo e empregos de diferentes extractores para avaliar o P disponível em solos de Goiás*. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz», 1980. 119 p. (Tese de Doutorado).
2. BACHE, B.W. Aluminum and iron phosphates studies relating to soils. II. Reactions between phosphate and hydrous oxides. *J. Soil Sci.*, 24:242-245. 1974.
3. BACHE, B.W. & WILLIAMS, E.G. A phosphate index for soils. *J. Soil Sci.*, 22: 289-301, 1971.
4. BAHIA FILHO, A.F.C. *Fósforo em latossolos do Estado de Minas Gerais: Intensidade, capacidade tampão e quantidade de fósforo disponível e crescimento vegetal*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 69 p. (Tese de M.S.).
5. BAHIA FILHO, A.F.C. *Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos no Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179 p. (Tese de Doutorado).
6. BARROW, N.J. Relationships between uptake of phosphorus by plants and the phosphorus potential and buffering capacity of the soil. An attempt to test Schofield's hypothesis. *Soil Sci.*, 104:99-106, 1967.
7. BECKETT, P.H.T. & WHITE, E.E. Studies on the phosphorus potentials of soils. Part III: The pool of labile inorganic phosphate. *Plant and Soil*, 21:253-282, 1964.
8. BRAY, R.H. Correlations of soil tests with crop response to added fertilizers and with fertilizer requirements. In: KITCHEN, H.B. *Diagnostic techniques for soil and crops*. Washington, D.C., The American Potash Institute, 1947. p. 53-85.
9. CABALA, R.P. O fósforo no solo e sua disponibilidade. In: EMBRAPA/CEPLAC. *Curso de fertilidade do solo e adubação*. Itabuna, 1975. 12 p.
10. COLEMAN, N.T.; THORUP, J.T. & JACKSON, W.A. Phosphate-sorption reactions that involve exchangeable Al. *Soil Sci.*, 90:1-7. 1960.
11. DEAN, L.A. & RUBINS, E.J. Anion exchange in soils: 1. Exchangeable phosphorus and anion-exchange capacity. *Soil Sci.*, 63:377-387, 1947.
12. DELAZARI, P.C. *Disponibilidade de fósforo em solos do Estado do Espírito Santo*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1979. 42 p. (Tese de M.S.).
13. FARIA, C.M.B. *Sorção de fósforo em cinco solos do Estado de Minas Gerais: Influência de alguns fatores*. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1975. 41 p. (Tese de M.S.).

14. HASEMAN, J.F.; BROWN, E.H. & WHITT, C.D. Some reactions of phosphate with clays and hydrous oxides of iron and aluminum. *Soil Sci.*, 70:257-271. 1950.
15. HOLFORD, I.C.R. & MATTINGLY, G.E. A model for the behavior of labile phosphate in soil. *Plant and Soil.*, 44:219-229, 1976.
16. HOLFORD, I.C.R.; WEDDERBURN, 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.
17. JACKSON, M.L. *Analisis Quimico del Suelos*. 2.^a ed. Barcelona, Ediciones Omega, 1970. 662 p.
18. JENSEN, H.E. Phosphate potential and phosphate capacity of soils. *Plant and Soil.*, 33:17-29. 1970.
19. KANWAR, J.S. Phosphate retention in some Australian soils. *Soil Sci.*, 82:43-50, 1956.
20. LARSEN, S. Soil phosphorus. *Adv. Agron.*, 19:151-210, 1967.
21. LUNDBLAD, K. Studies on podzols and brown forest soils: I. *Soil Sci.*, 37:137-155, 1934.
22. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. 1. The isotherm and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.*, 17:212-229, 1966.
23. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudo-boehmite. 2. The location of adsorption sites. *J. Soil Sci.*, 17:230-237, 1966.
24. MULJADI, D.; POSNER, A.M. & QUIRK, J.P. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. 3. The effect of temperature on adsorption. *J. Soil Sci.*, 17:238-247, 1966.
25. NELSON, L.A. & ANDERSON, R.L. Partitioning of soil test-crop response probability. In: CHAIRMAN, T.R.P.; COPE JR., J.T. & WHITNEY, D.A.(ed.). *Soil testing: correlating and interpreting the analytical results*. Madison, American Society of Agronomy, 1977. p. 19-38.
26. NOVAIS, R.F. *Phosphorus supplying capacity of previously heavily fertilized soils*. Raleigh, North Carolina State University, 1977, 151 p. (Tese de Ph.D.).
27. 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. Amer. Proc.*, 21:144-149. 1957.
28. OZZANE, P.G. & SHAW, T.C. Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. *Aust. J. Agric. Res.*, 18:601-612, 1967.

29. PARFIITT, R.L. Anion adsorption by soils and soil materials. *Adv. Agron.*, 30: 1-50, 1978.
30. PEASLEE, D.E. Relationships between relative crop yields, soil test phosphorus levels, and fertilizer requirements for phosphorus. *Soil Sci. Plant Anal.*, 9: 429-442, 1978.
31. SÁ JR., J.P.M.; GOMES, L.F. & VASCONCELLOS, A.L. Retenção de fósforo em solos da Zona da Mata de Pernambuco. *Pesq. Agropec. Bras.* 3:183-188, 1966.
32. SALMON, R.C. Relations between intensity level and quantity of soil phosphorus and its availability. *Soil Sci.*, 101:450-454, 1966.
33. SALMON, R.C. Effects of initial phosphate intensity and sorption of buffering capacity of soil on fertilizer requirements of different crops in pots or in the field. *J. Agric. Sci.*, 81:39-46, 1973.
34. SYERS, J.K.; EVANS, T.D.; WILLIAMS, J.D.H. & MURDOCK, J. T. Phosphate sorption parameters of representative soils from Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Sci.*, 112:267-275. 1971.
35. THOMAS, G.W. & PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M. & BENTON, J.D. (ed.). *Soil testing and plant analysis*. Madison, Soil Science Society of America, 1973. p. 115-129.
36. VETTORI, L. *Métodos de Análise de Solo*. Rio de Janeiro, EPE, 1969. 24 p.
37. VOLKWEISS, S.J. *Factors affecting phosphate sorption by soils and minerals*. Madison, University of Wisconsin, 1973. 138 p. (Tese de Ph.D.).