

# **ALTERAÇÕES DE PROPRIEDADES FÍSICAS E HÍDRICAS DE UM LATOSSOLO VERMELHO DISTRÓFICO PELA ADSORÇÃO DE FÓSFORO<sup>(1)</sup>**

**R. B. SILVA<sup>(2)</sup>, J. M. LIMA<sup>(3)</sup>, M. S. DIAS JUNIOR<sup>(3)</sup> & F. A. M. SILVA<sup>(2)</sup>**

## **RESUMO**

**A elevada capacidade de adsorção de fósforo (P) é uma característica típica dos Latossolos oxidicos. O P é adsorvido principalmente por complexo de esfera interna que influencia o balanço de cargas, a dispersão de partículas e, conseqüentemente, a relação solo-água. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da adsorção de P nas propriedades físicas e hídricas de amostras de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), da região dos Campos da Mantiqueira (MG). Amostras deformadas e indeformadas, coletadas nas camadas de 0-0,03 e 0,27-0,30 m, foram saturadas em água pura ou em solução de P, com vistas em alcançar a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP). Posteriormente, avaliaram-se alterações no teor de argila dispersa em água, índice de floculação, porosidade, limites de consistência e curva de retenção de água. A adsorção de P aumentou a quantidade de argila dispersa e influenciou na quantidade de macro e microporos, acarretando aumento dos limites de consistência no deslocamento da curva de retenção de água para valores mais elevados de umidade, assim como um acréscimo dos teores de água disponível.**

**Termos de indexação: teor de argila dispersa em água, curva de retenção de água, porosidade, limite de consistência, água disponível.**

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras - DCS/UFLA. Projeto financiado pela CAPES. Recebida para publicação em abril de 2000 e publicada em julho de 2001.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Departamento de Ciência do Solo, Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista da CAPES. E-mail: rbsilva@ufla.br

<sup>(3)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq. E-mail: jmlima@ufla.br

**SUMMARY:** *CHANGES IN PHYSICAL AND HYDRIC PROPERTIES IN HAPLUDOX BY PHOSPHORUS SORPTION*

*High phosphorus (P) sorption capacity is a typical feature of oxidic oxisols. P is mainly sorbed by inner-sphere complex affecting charge balance, particle dispersion and, consequently, water-soil relationship. The objective of this study was to evaluate the effect of P sorption on physical and hydric properties of samples of a Typic Hapludox, from Campos Mantiqueira Region (Minas Gerais, Brazil). Disturbed and undisturbed soil samples, from 0-0.03 and 0.27-0.30 m depth, were saturated in pure water or P solution to reach the sorption capacity of each layer, followed by evaluation of clay dispersion, flocculation index, porosity, consistence limits, and water retention capacity. P sorption increased the content of dispersible clay and affected the amount of macro and micro pores, increasing the consistence limits and displacing the water retention curve to higher moisture values, causing an increase in available water content.*

*Index terms: content of dispersible clay, water retention curve, porosity, consistence limits, available water.*

## INTRODUÇÃO

Parte da importância do fenômeno de adsorção de fósforo em solos deve-se ao fato de ser ele um dos ânions mais fortemente retidos, principalmente em Latossolos (Vasconcellos, 1974; Bahia Filho, 1982). De acordo com Veith & Sposito (1977), as reações de adsorção acontecem em dois estádios, um rápido, em que ocorre a adsorção propriamente dita, e um mais lento, a precipitação. O estádio rápido pode ser observado em superfícies de hematita e gibbsita (Kuo & Lotse, 1974) e está, provavelmente, associado à alta energia de adsorção e à baixa saturação da superfície de adsorção. A adsorção do fósforo depende do tipo e da cristalinidade dos óxidos de ferro e alumínio, podendo ser afetada pela matéria orgânica, principalmente, por esta competir com o íon fosfato pelos sítios de adsorção (Parfit et al., 1975).

Estudos desenvolvidos por Bahia Filho et al. (1983) Souza, et al. (1991) em Latossolos do Planalto Central, mostram que a goethita é o principal componente de óxido de ferro da fração argila responsável pela adsorção de fósforo. Segundo esses autores, isto decorre da substituição isomórfica do Fe pelo Al. Esta substituição, de acordo com Resende (1976), provoca um desarranjo estrutural que diminui o tamanho das partículas, aumentando a área superficial específica e possibilitando, assim, maior adsorção de fósforo. A gibbsita, se comparada à goethita, tem uma participação menos efetiva na adsorção de fósforo em solos oxidicos. Porém, em razão da sua maior quantidade em alguns Latossolos, sua contribuição, em termos de adsorção total, pode ultrapassar à de óxido de ferro (Curi et al., 1988; Mesquita Filho & Torrent, 1993).

Como a maior parte das reações que envolvem óxidos de Fe e Al são dependentes de pH, o excesso

de carga na superfície, positiva ou negativa, produz forças repulsivas entre partículas de cargas iguais, conseqüentemente, reduz a estabilidade de agregados e aumenta a dispersão de argila (Gillman, 1974).

A adsorção específica de íons de P forma complexos de esfera interna com grupos funcionais de superfície, particularmente em solos oxidicos, e torna mais negativa a superfície da partícula, deslocando, deste modo, o ponto isoelétrico para um valor mais baixo (Hingston et al., 1974; Sawhney, 1974; Sposito, 1989). Em solos com balanço de carga líquida positiva (isto é, solos com valores de pH menores que os do PCZ), a exemplo da maioria dos Latossolos, a adsorção de fosfato aumenta a quantidade de cargas negativas e diminui o excedente de cargas positivas, aumentando, assim, a atração eletrostática entre as partículas e, conseqüentemente, diminuindo a dispersão (aumento da floculação) até o ponto em que esse balanço é zero (máxima floculação).

A partir desse ponto, a adsorção de fósforo altera a quantidade de argila dispersa em água (ADA), a qual favorece a desagregação (Lima et al., 2000). Essa alteração afeta a quantidade de macro e microporos, estabilidade de agregados, dispersão de partículas, com efeito sobre os limites de consistência e pressão de preconsolidação (Silva et al., 1999).

Portanto, a exemplo de outros íons (EL-Swaify, 1975; Valle Júnior, 1995), o íon fosfato pode reduzir o efeito cimentante dos óxidos de Fe e Al e alterar o estado de agregação, comprometendo as propriedades físicas e hídricas do solo e, conseqüentemente, influenciar o comportamento de água no solo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as alterações de algumas propriedades físicas e hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico (LVd), fase cerrado, sob o efeito da adsorção de fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Neste estudo, foram utilizadas amostras indeformadas (0,0652 m de diâmetro x 0,0254 m de altura) e deformadas das camadas de 0-0,03 e 0,27-0,30 m de um LVD, fase cerrado, localizado nos Campos da Mantiqueira (MG), entre 21°15' e 21°50' S 44°15' e 44°45' W.

No quadro 1, está apresentada a caracterização química e mineralógica de amostras indeformadas de solo das camadas estudadas. Os teores de óxidos extraídos pelo ataque sulfúrico, fósforo disponível, carbono orgânico e valores de pH foram determinados segundo Vettori (1969) e EMBRAPA (1997). Os teores de caulinita e gibbsita foram quantificados por meio de análise térmica diferencial (ATD), após desferrificação da argila pelo método do ditionito-citrato-bicarbonato (DCB), conforme Mehra & Jackson (1960). O ponto de carga zero (PCZ) foi determinado indiretamente pela expressão:  $2pH_{KCl} - pH_{H_2O}$ , sugerida por Keng & Uehara (1974).

A capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) foi determinada com base no P remanescente (Alvarez & Fonseca, 1990), seguindo o procedimento metodológico de Olsen & Watanabe (1957). Os valores de adsorção encontrados foram

ajustados à equação de Langmuir (Rajan & Fox, 1975) que, depois de linearizada, originou a energia de adsorção,  $K (b/a)$  e a CMAP ( $1/b$ ), como mostra o quadro 2.

Para avaliar o efeito da adsorção de P sobre as propriedades físicas ou hídricas, duas condições foram atendidas: com P e sem P. Na primeira, parte das amostras foi tratada com solução de P, (fonte:  $KH_2PO_4$ ) suficiente para se atingir CMAP, durante as etapas de umedecimento (24 h) ou de saturação (48 h), conforme o atributo avaliado (Quadro 2). Na segunda condição, o restante das amostras recebeu apenas água destilada.

A textura foi avaliada com base no método de Gee & Bauder (1986). Nos tratamentos que receberam P, foram aplicadas concentrações equivalentes a CMAP para 10 g de terra fina seca em estufa (TFSE) da amostra. Os índices de floculação (IF) foram calculados com base nas expressões: (a) amostras sem fósforo:  $IF = [(AT - ADA)/AT] * 1.000$ ; e (b) amostras com fósforo:  $IF_P = [(AT-ADP)/AT] * 1000$ , sendo  $IF_P$  o índice de floculação da amostra com fósforo; IF o índice de floculação sem fósforo; ADP argila dispersa em solução de P; AT é a argila total e ADA é a argila dispersa em água.

**Quadro 1. Caracterização química e mineralógica do Latossolo Vermelho distrófico**

Camada	Ataque sulfúrico				Rel. molec.		pH				Ct <sup>(3)</sup>	Gb <sup>(4)</sup>			
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>a</sub>	Fe <sub>o</sub>	Ki	Kr	M.O. <sup>(1)</sup>			Água	KCl	PCZ <sup>(2)</sup>
m	g kg <sup>-1</sup>							g kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>			
0-0,03	136	316	156	6,9	1,02	63	1,9	0,73	0,56	38	5,2	4,4	3,6	240	400
0,27-0,30	137	306	163	8,5	0,81	59	1,6	0,76	0,57	29	5,3	4,6	3,9	250	380

(<sup>1</sup>) Matéria orgânica. (<sup>2</sup>) Ponto de carga zero. (<sup>3</sup>) Caulinita. (<sup>4</sup>) Gibbsita.

**Quadro 2. Quantidades de P das respectivas massas de solo, utilizadas nas análises das propriedades avaliadas, considerando a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) de amostras de duas camadas do solo**

Camada	Equação	K	CMAP	Amostra indeformada <sup>(1)</sup>		Amostra deformada <sup>(1)</sup>		
				Curva de retenção <sup>(2)</sup>		Consistência	Textura	
				P cilindro <sup>-1</sup>	P total <sup>(3)</sup>	Massa de solo, g		
				500	10			
m				P, mg kg <sup>-1</sup>				
0-0,03	$Y = 0,000769x + 0,00103$	$R^2 = 0,99$	0,74	1.299	149,24	2.238,63	838,69	16,76
0,27-0,30	$Y = 0,000641x + 0,000482$	$R^2 = 0,99$	1,33	1.559	253,69	3.805,35	1.218,85	23,22

(<sup>1</sup>) A quantidade de P fornecida para que se atingisse a CMAP nos parâmetros avaliados dependeu da umidade e densidade do material de solo de cada camada. (<sup>2</sup>) Nos anéis utilizados para determinação da curva de retenção, determinaram-se também a densidade do solo inicial, a macro e a microporosidade. (<sup>3</sup>) Fósforo total aplicado em 15 cilindros, número utilizado por tratamento.

O volume de macro e microporos foi determinado em amostras indeformadas na presença e ausência de fósforo, conforme EMBRAPA (1997). Os limites de liquidez (LL) e de plasticidade foram determinados segundo Sowers (1965), e o limite de contração (LC) de acordo com Bowles (1986).

A curva de retenção de água foi obtida por secagem, com base em Klute (1986). As amostras, depois de saturadas por 48 h em solução de fósforo (conforme a CMAP) ou em água destilada, foram levadas à mesa de tensão (0,002; 0,004; 0,006; 0,008; 0,01 MPa) e, posteriormente, às câmaras de pressão (0,033; 0,1; 0,5 e 1,5 MPa), até que o teor de água equilibrasse. Os valores de umidade e sucção foram ajustados ao modelo de Genuchten (1980)  $\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [(1 + (\alpha \cdot h)^n)^m]$ , em que  $\theta$  é a umidade volumétrica à base de volume;  $\theta_s$  e  $\theta_r$  são as umidades volumétricas de saturação e residual, respectivamente;  $h$  é a tensão em c.c.a., e  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  são parâmetros de ajuste do modelo.

O experimento foi instalado no delineamento em blocos completos ao acaso, sendo as análises de variância e testes de médias realizados por profundidade amostrada. As variáveis qualitativas foram analisadas a partir do software Sanest (Zonta et al., 1984) e as quantitativas, particularmente as curvas de retenção de água, foram ajustadas por meio do modelo de Genuchten (1980), utilizando um programa para ajuste da curva de retenção de água proposto por Dourado Neto et al. (1990).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os efeitos da adsorção de fósforo com alterações das propriedades físicas (teor de argila dispersa, índice de floculação, densidade do solo inicial e macro e microporosidade) são apresentados no quadro 3.

A adição de P alterou os teores de argilas dispersas, reduzindo significativamente o índice de floculação em ambas as profundidades estudadas. A dispersão, além de diminuir os valores de densidade inicial,

contribuiu para reduzir e elevar significativamente os teores de macro e microporos, respectivamente. A alteração destas propriedades deveu-se, provavelmente, à diminuição do efeito cimentante dos óxidos, que, de acordo com Shainberg & Letey (1984), pode alterar a geometria dos poros e alterar a condutividade hidráulica. A maior tendência de respostas à adsorção de P das propriedades avaliadas na camada subsuperficial (0,27-0,30 m) deveu-se ao menor teor de matéria orgânica e aos maiores teores de gibbsita (Quadro 1), o que favoreceu a maior adsorção de fósforo e, portanto, o maior efeito dispersivo, em consequência do desbalanço de cargas na superfície dos colóides.

Vale ressaltar que, neste solo, os valores de PCZ estão abaixo dos valores de pH (Quadro 1), e a adsorção de P elevou a quantidade de carga negativa, conferindo-lhe um balanço de carga negativo.

A adsorção de fosfato elevou os LL, LP e LC, propiciando aumentos dos índices de plasticidade (IP) e da faixa de friabilidade (FF) (Quadro 4). Isto se deveu, provavelmente, à maior superfície específica, que certamente influenciou interação solo-água, elevando, por sua vez, a retenção de água (microporosidade), como mostra o quadro 1. O deslocamento do IP e da FF para teores mais elevados de água, além de dificultar o preparo deste solo, diminui a capacidade de suporte, susceptibilizando-o à compactação (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1996; Kondo & Dias Junior, 1999; Silva et al., 1999). Vale ressaltar que as respostas obtidas neste estudo basearam-se na CMAP, concentrações de P que, certamente, são muito superiores às fosfatagens ou adubações corretivas usadas rotineiramente.

Outro efeito da adsorção de P sobre propriedades que governam a interação solo-água pode ser visto no quadro 5 e nas figuras 1 e 2. O P influiu nos parâmetros de ajustes descritos pelo modelo de Genuchten (1980) e elevou as suas respectivas umidades volumétricas residuais ( $\theta_r$ ), de saturação ( $\theta_s$ ), resultando em alterações no comportamento das curvas de retenção de água (Figura 1).

**Quadro 3. Quantidades de micro e macroporos, argila dispersa, índice de floculação e densidade inicial em duas camadas do solo, com e sem fósforo**

Camada	Teor de argila			Índice de floculação		Densidade inicial		Porosidade			
	Total <sup>(1)</sup>	Água <sup>(2)</sup>	P <sup>(3)</sup>	Água	P	Sem P	Com P	Macro		Micro	
								Sem P	Com P	Sem P	Com P
m	g kg <sup>-1</sup>					Mg m <sup>-3</sup>		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
0-0,03	663 a	150 c	320 b	773 a	517 b	1,01 ± 0,04	0,99 ± 0,04	0,222 a	0,184 b	0,381 b	0,415 a
0,27-0,30	685 a	185 c	410 b	729 a	401 b	1,06 ± 0,02	1,05 ± 0,04	0,232 a	0,210 b	0,386 b	0,411 a

<sup>(1)</sup> Teor de argila dispersa em solução hidróxido de sódio. <sup>(2)</sup> teor de argila dispersa em água. <sup>(3)</sup> Teor de argila dispersa em solução de fósforo. Letras minúsculas, na linha, comparam teor de argila dispersa, índice de floculação e porosidade na condição com e sem P, a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Verificou-se maior retenção de água para as amostras saturadas com solução de P. Embora a camada de 0-0,03 m (Figura 1a) tenha possibilitado maior retenção de água, principalmente a baixas tensões, foi o material da camada de 0,27-0,30 m (Figura 1b) que apresentou maior efeito da adsorção de fósforo, como mostra o deslocamento da curva das amostras saturadas com P em relação à curva das amostras saturadas apenas com água. Tal fato pode ser atribuído aos menores e maiores teores de matéria orgânica e de gibssita, respectivamente, (Quadro 1), conferindo-lhe maior CMAP e energia de adsorção (K) (Quadro 2), concordando, portanto com Kuo & Lotse (1974).

Assim, se, por um lado, a matéria orgânica concorre diretamente com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção da superfície dos óxidos de ferro e alumínio, por outro, favorece uma melhor estruturação (Sawhney, 1974; Parfitt et al., 1975; Sposito, 1989; Lima 1995), justificando, assim, um menor efeito da adsorção e maior retenção de água na camada superficial (Figura 1a). O efeito da adsorção de P pode ainda ser mais bem visualizado nas figuras 2a e 2b, em que é mostrado o efeito isolado da adsorção de P sobre a retenção de água

em cada camada. Observa-se que na condição com P (Figura 2b), comparativamente à condição sem P (Figura 2a), houve maior deslocamento das curvas características para umidades mais elevadas, sendo este deslocamento mais expressivo, principalmente, em amostras da camada de 0,27-0,30 m.

A adsorção de P alterou também a água disponível (AD), ou seja, o teor de água retido entre a capacidade de campo (0,01 MPa) e o ponto de murcha permanente (1,5 MPa), como mostram a figura 3 e o quadro 5. Em materiais de solo da camada de 0-0,03 m (Figura 3a), apesar da maior retenção de água, foi desprezível o aumento da AD ( $0,01 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ), o que pode ser constatado pelo paralelismo das curvas das condições estudadas. Na camada de 0,27-0,30 m (Figura 3b), a adsorção de P elevou cerca de 2,7 vezes o teor de AD em relação à condição sem P. O teor de água referente à capacidade de campo parece ter sido o responsável por esse incremento, já que a diferença entre os teores de água relativa à capacidade de campo entre as condições com e sem P dessa camada ( $0,48$  e  $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) mostrou-se muito superior à diferença entre os teores de  $0,42$  e  $0,35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  da camada de 0-0,03 m.

**Quadro 4. Limites de liquidez (LL), limites de plasticidade (LP), limites de contração (LC), índice de plasticidade e faixas de friabilidade em duas camadas do solo**

Camada	Condição de saturação	Limite de consistência			Faixa de friabilidade	Índice plástico
		LL	LP	LC		
m		kg kg <sup>-1</sup>				
0-0,03	Água pura	0,44	0,33	0,22	0,11	0,11
	Solução de P	0,62	0,39	0,26	0,13	0,23
0,27-0,30	Água pura	0,40	0,25	0,16	0,09	0,15
	Solução de P	0,57	0,35	0,22	0,13	0,22

**Quadro 5. Água disponível, teores de água referentes à capacidade de campo, ponto de murcha permanente e equação de Genuchten ajustada para as condições com e sem P em duas camadas do solo ( $q$  = umidade à base de volume;  $\theta_r$  = umidade residual;  $\theta_s$  = umidade de saturação;  $h$  = tensão em c.c.a.;  $\alpha$ ,  $m$  e  $n$  = parâmetros empíricos)**

Camada	Condição	$\theta = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) / [1 + (\alpha \cdot h)^n]^m$	$\theta_{cc}^{(1)}$	$\theta_{PMP}^{(2)}$	AD <sup>(3)</sup>
m		m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>			
0-0,03	Água pura	$\theta = 0,24 + (0,52 - 0,24) / [1 + (0,085 \cdot h)^{1,411}]^{0,291}$	0,35	0,25	0,10
	Solução de P	$\theta = 0,28 + (0,58 - 0,28) / [1 + (0,119 \cdot h)^{1,317}]^{0,241}$	0,42	0,31	0,11
0,27-0,30	Água pura	$\theta = 0,24 + (0,49 - 0,24) / [1 + (0,099 \cdot h)^{1,416}]^{0,294}$	0,28	0,24	0,04
	Solução de P	$\theta = 0,28 + (0,52 - 0,28) / [1 + (0,069 \cdot h)^{1,279}]^{0,218}$	0,42	0,32	0,10

<sup>(1)</sup> Umidade referente à capacidade de campo (0,01 MPa). <sup>(2)</sup> Umidade referente ao ponto de murcha permanente (1,5 MPa). <sup>(3)</sup> Água disponível =  $\theta_{cc} - \theta_{PMP}$ .

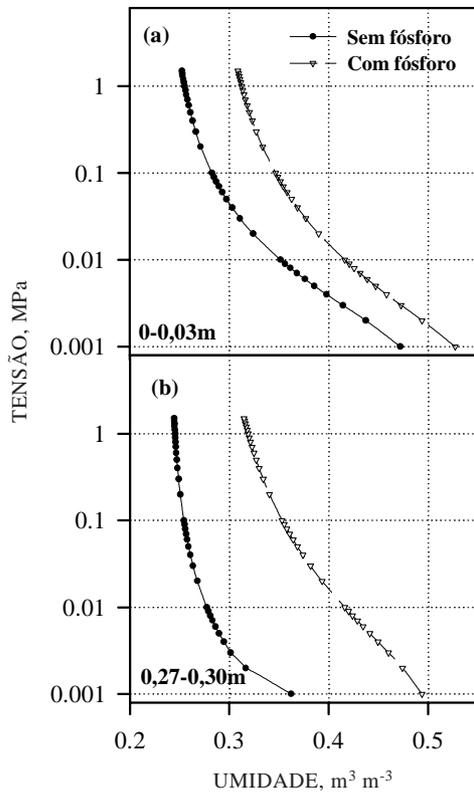


Figura 1. Curvas de retenção de água de material de solo, com e sem P, em duas camadas do solo.

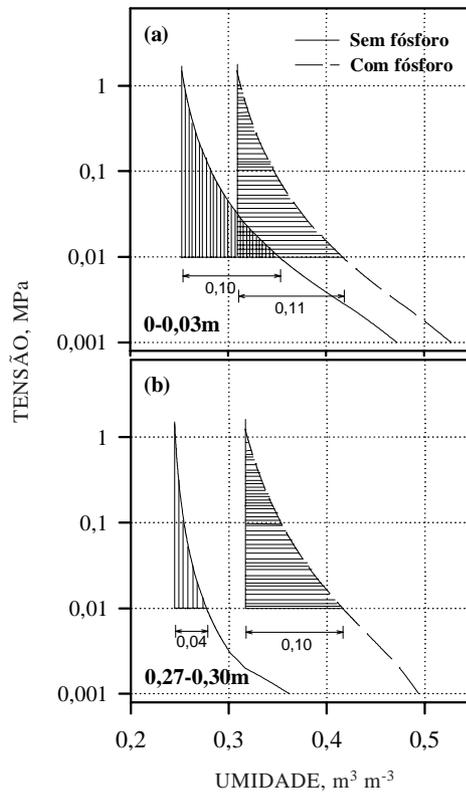


Figura 3. Curvas de retenção de água e os seus teores de água disponível, com e sem P, em duas camadas do solo.

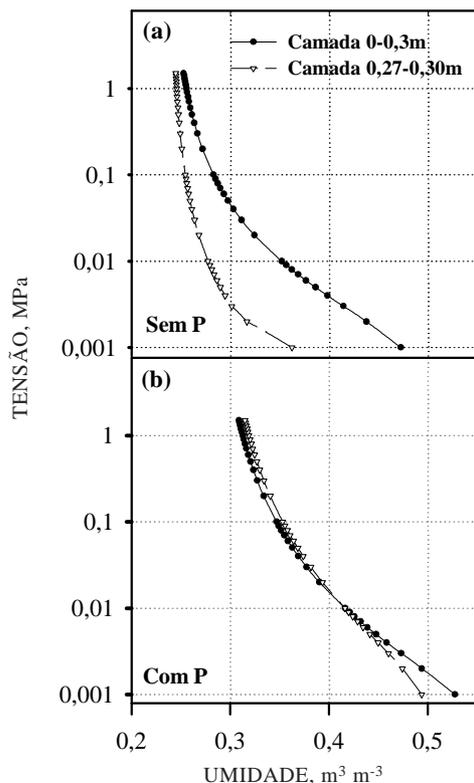


Figura 2. Curvas de retenção de água de material de solo, com e sem P, em duas camadas do solo.

Segundo Reichardt (1988), a capacidade de campo é resultado de um comportamento dinâmico da água no solo e não uma característica intrínseca da sua matriz. Portanto, alterações nas propriedades descritas neste estudo contribuíram para maior acréscimos do teor de água presente no solo em condições de ser absorvida pelas plantas.

## CONCLUSÕES

1. A adsorção de P em amostras de material de solo de um LVd elevou os teores de argila dispersa em água (ADA) e baixou o índice de floculação com conseqüente redução e aumento da macro e microporosidade, respectivamente; elevou os teores de água dos limites de liquidez, plástico, e de contração, provocando acréscimos do índice de plasticidade; influenciou nos parâmetros de ajuste do modelo de Genuchten e deslocou as curvas de retenção de água para umidades mais elevadas.

2. A adsorção de P influenciou a retenção de água, nas tensões correspondentes à capacidade de campo e ponto de murcha permanente, elevando os teores de água disponível, principalmente na camada de 0,27-0,30 m.

**LITERATURA CITADA**

- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 14:49-55, 1990.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índice de disponibilidade de fósforo em Latossolos do Planalto Central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1982. 179p. (Tese de Doutorado)
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J.M.; RESENDE, M. & RIBEIRO, A.C. Relações entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. R. Bras. Ci. Solo, 7:221-226, 1983.
- BOWLES, J.A. Engineering properties of soils and their measurements. 3.ed. New York, McGraw-Hill, 1986. 218p.
- CURI, N.; CAMARGO, O.A.; GUEDES, G.A.A. & SILVEIRA, J.V. Sorção de fósforo em materiais de Latossolo do Brasil Sudeste. In: REUNIÃO DE CLASSIFICAÇÃO, CORRELAÇÃO DE SOLOS E INTERPRETAÇÃO DA APTIDÃO AGRÍCOLA. 3., Rio de Janeiro, 1988. Anais. Rio de Janeiro, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988. p.267-282.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996.
- DIAS JUNIOR, M.S. Compression of three soils under long-term tillage and wheel traffic. East Lansing, Michigan State University, 1994. 114p. (Tese de Doutorado)
- DOURADO NETO, D.; LIER, Q.J.V.; BOTREL, T.A. & LIBARDI, P.L. Programa para confecção da curva de retenção da água no solo utilizando o modelo Genuchten. Eng. Rural, 1:92-102, 1990.
- EL-SWAIFY, S.A. & EMERSON, W.W. Changes in the physical properties of soil clays due to precipitated Aluminium and iron hydroxides: I Swelling and aggregate stability after drying. Soil Sci. Soc. Am. Proc, 39:1056-1063, 1975.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA EMBRAPA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle size analysis. KLUTE, A., ed. Methods of soils analysis. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. pt.1. p.383-411. (Agronomy Monography, 9)
- GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:892-898, 1980.
- GILLMAN, G.P. The influence of net charge on water dispersible clay and soberb sulphate. Aust. J. Soil Res, 12:173-176, 1974.
- HINGSTON, F.J.; POSNER A.M. & QUIRK. J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. II: Desorption of anions from the hydrous oxide surfaces. J. Soil Sci., 25:16-26, 1974.
- KENG, J.C. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of oxissols and Utisols. Proc. Soil Crop Sci. Soc. Florida, 33:119-126, 1974.
- KLUTE, A. Laboratory measurement of hydraulic conductivity of saturated soils. In: KLUTE, A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.61-253. (Monography, 9)
- KONDO, M.K. & DIAS JUNIOR, M.S. Efeito do manejo e da umidade no comportamento compressivo de três Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 23:497-506, 1999.
- KUO, S. & LOTSE, E.G. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by lake sediments. Soil Sci. Soc. Am. J., 38:50-54, 1974.
- LANDA, E.R. & GAST, R.G. Evolution of crystallinity in hydrated ferrioxides. Clays Clay Miner., 21:121-130, 1973.
- LIMA, J.M.; ANDERSON, S.J. & CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in hapludoxs. Soil Sci. Soc. Am. J., 64:892-897, 2000.
- MEHRA, O.P. & JACKSON, M.L. Iron oxides removal from soils and clays by a dithionite-citrate-bicarbonate system buffered with sodium bicarbonate. Clays Clay Miner, 7:317-327, 1960.
- MESQUITA FILHO, M.V. & TORRENT, J. Phosphate sorption as related to mineralogy of a hidrosequence of soils from the Cerrado Region (Brazil). Geoderma, 58:107-123, 1993.
- OLSEN, R.B. & WATANABE, F.S. A method of determine a phosphorus adsorption maximum of soils as measured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. J., 21:144-149, 1957.
- PARFIT, R.L.; ATKINSON, R.J. & SMART R.S.C. The mechanisms of phosphate fixation by iron oxides. Soil Sci. Soc. Am. J., 39:837-841, 1975.
- RAJAN, S.S.S. & FOX, R.L. Phosphate adsorption by soils: II. Reactions in tropical acid soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 39:846-851, 1975.
- RESENDE, M. Mineralogy, chemistry, morphology and geomorphology of some soils of the Central Plateau of Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1976. 237p. (Tese de Doutorado)
- REICHARDT, K. Capacidade de campo. R. Bras. Ci. Solo, 12:211-216. 1988.
- SAWHNEY, B.L. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. Soil Sci. Soc. Am. J., 38:159-160, 1974.
- SHAINBERG, I. & LETEY, J. Response of soil to sodic and saline conditions. J. Agric. Sci., 52:1-57, 1984.
- SILVA, R.B.; LIMA, J.M. & DIAS JUNIOR, M.S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. R. Bras. Ci. Solo, 23:219-226, 1999.
- SOUZA, J.A.; CURI, N. & GUEDES, G.A.A. Relação entre mineralogia e adsorção-desorção de fósforo em alguns Latossolos sob cerrado do Planalto Central. Ci. Prat., 15:103-111, 1991.

- SOWERS, G.W. Consistency. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.391-399.
- SPOSITO, G. Surface reactions in natural and aqueous colloidal systems. *Chimia*, 43: 169-176, 1989.
- VALLE JUNIOR, R.F. Efeito da aplicação de hidróxido de sódio sobre a disponibilidade real de água de um Latossolo Vermelho distrófico sob cerrado. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1995. 105p. (Tese de Mestrado)
- VASCONCELLOS, A.C. Fósforo em dois latossolos do estado de Mato Grosso: adsorção, dessorção e crescimento vegetal. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1974. 103p. (Tese de Mestrado)
- VEITH, J.A. & SPOSITO, G. On the use of the Langmuir equation in the interpretation of adsorption phenomena. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 41:697-702, 1977.
- VETTORI, L. Métodos de análise de solo. Brasília, Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico, 7)
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. & SILVEIRA JÚNIOR, P. Sistemas de análise estatística para microcomputadores (SANEST). Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 1984.151p.