

# SEÇÃO II - QUÍMICA E MINERALOGIA DO SOLO

## EFEITO DA ADSORÇÃO DE FOSFATO EM PARÂMETROS FÍSICOS E NA COMPRESSIBILIDADE DE SOLOS TROPICAIS<sup>(1)</sup>

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

### RESUMO

A elevada adsorção de fosfato em solos tropicais oxídicos altera o balanço de cargas nas superfícies das partículas e pode aumentar a dispersão. Conseqüentemente, isto pode influir na distribuição de tamanhos de poros, estabilidade de agregados e suscetibilidade à compactação. Para avaliar o efeito da adsorção de fosfato nas curvas de compressão e limites de consistência de solos, foram amostradas as camadas de 0-3 e 27-30 cm de um Latossolo Vermelho-Escuro (LE) e de um Cambissolo (C), ambos de textura muito argilosa, na microrregião dos Campos da Mantiqueira (MG). Foi adicionada solução de fosfato à metade das amostras para atingir a sua capacidade máxima de adsorção. As pressões de preconsolidação foram obtidas a partir das curvas de compressão, que representam, graficamente, a densidade do solo em função do logaritmo da pressão aplicada. Os limites de liquidez, plasticidade e de contração foram também determinados para cada amostra com e sem fosfato. Os resultados mostraram um deslocamento das curvas de compressibilidade no sentido de menores pressões de preconsolidação, em função do aumento de umidade e adsorção de P. Esse deslocamento foi mais pronunciado nas amostras do Latossolo, principalmente na camada de 0-3 cm, mostrando redução na capacidade de suporte de cargas dos solos. A adsorção de fosfato também alterou os limites de consistência, reduzindo a amplitude da zona de friabilidade e, conseqüentemente, alterando a capacidade de trabalho e tráfego dos solos.

**Termos de indexação:** umidade do solo, compactação, balanço de cargas.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado apresentada pelo primeiro autor à Universidade Federal de Lavras. Recebido para publicação em maio e aprovado em dezembro de 1998.

<sup>(2)</sup> Engenheiro-Agrônomo, M.Sc., Universidade Federal de Lavras (UFLA). Caixa Postal 37, CEP 37200-000 Lavras (MG). Bolsista da CAPES.

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, D.Sc. Professor do Departamento de Ciência do Solo, UFLA. Bolsista do CNPq.

**SUMMARY:** *PHYSICAL AND COMPRESSIBILITY PARAMETERS AS AFFECTED BY PHOSPHATE ADSORPTION IN TROPICAL SOILS*

*High phosphate adsorption in oxidic tropical soils changes the charge balance on the surface of particles and can increase dispersion. Consequently, it can affect pore size distribution, aggregate stability and susceptibility to compaction. In order to measure the effect of phosphate sorption on compression curves and consistence limits, a Dark-Red Latosol (LE) (very fine, allitic, isothermic Typic Hapludox) and a Cambisol (C) (very fine, isothermic Oxic Distrocept) were sampled at 0-3 and 27-30 cm depth, at Campos da Mantiqueira, Minas Gerais, Brazil. Phosphate solution was added to half of the samples so that the P adsorption capacity could be reached. Preconsolidation pressures were obtained from the compression curves, which represent the bulk density of soil as a function of log of applied load. Liquid, plastic, and contraction limits were also determined for each sample under both P and no P conditions. The results showed a shift on compressibility curves towards lower preconsolidation pressures as moisture increased and P was adsorbed to samples. This shift was more evident on LE samples, mainly at 0-3 cm depth, which means a decrease on the load support capacity of soil. Phosphate adsorption also changed consistency limits, decreasing the range of friability and, consequently, affecting trafficability and workability of soil.*

*Index terms: soil moisture, compaction, charge balance, tropical soils.*

## INTRODUÇÃO

A literatura, de forma ampla, tem mostrado o efeito da compactação na produtividade agrícola (Barnes et al., 1971; Gupta et al., 1985; Larson et al., 1989). Alguns pesquisadores (Ribeiro, 1987; Ballester, 1992; Maziero, 1993) investigaram a relação entre o uso de máquinas agrícolas e de equipamentos de preparo e cultivo do solo e as alterações nas propriedades físicas do solo. Outros se detiveram a modelar essas alterações, tentando compreender o comportamento das propriedades físicas do solo dentro do processo de compactação, baseados principalmente na curva de compressão do solo (Larson et al., 1980; Larson & Gupta, 1980; Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1995).

Em todos esses trabalhos, o enfoque tem sido predominantemente no aspecto físico. Todavia, com o desenvolvimento da agricultura de altos insumos, o uso de corretivos e fertilizantes, principalmente fosfatados, tem sido intensivo. No caso de solos tropicais, de características oxidicas, onde é verificada alta retenção de fósforo, é necessária a utilização de grandes quantidades desse nutriente. Os benefícios dessa prática são inegáveis, porém tem sido verificado efeito dispersivo nos colóides do solo em virtude da adsorção de fosfato (Hingston et al., 1974; Sawhney, 1974; Sposito, 1989). Este efeito pode alterar as propriedades físicas e comprometer o estado de agregação do solo, tornando-o mais suscetível à compactação. Neste contexto, ainda, prevalece a falta de informações que enfoquem a interdependência das propriedades físicas do solo e

as reações químicas de superfície de partículas dentro do processo de compactação do solo.

Trabalhos relativos à retenção do íon fosfato em solos altamente intemperizados não são recentes. Associações da capacidade de adsorção de fosfato com a mineralogia do solo têm mostrado serem os óxidos de Fe e Al os componentes mais efetivos na retenção desse ânion (Resende, 1976; Bahia Filho, 1982; Curi, 1983). Segundo tais autores, a magnitude desta retenção depende da participação da matéria orgânica, tipos de argila, grau de cristalização e teores e tipos de óxidos e hidróxidos de Fe e Al presentes.

As reações que envolvem óxidos e hidróxidos de Fe e Al, com geração de cargas, são, em sua maioria, reações dependentes de pH. O predomínio de um sinal de carga na superfície das partículas, positivo ou negativo, produz forças repulsivas entre partículas, aumentando a dispersão e diminuindo a estabilidade dos agregados. Em solos oxidicos, com balanço de cargas negativo, a adsorção de P aumenta a dispersão de partículas, diferente daqueles solos com balanço de cargas positivo, onde a adsorção de P inicialmente aumenta a floculação, para então dispersar, após tornar-se mais eletronegativo com aumento na adsorção de fosfato (Hingston et al., 1974; Sawhney, 1974; Sposito, 1989).

Uma vez que a adsorção de fosfato em solos oxidicos altera o balanço de cargas, afetando a floculação e dispersão de partículas, esta pode também aumentar a suscetibilidade do solo à compactação por facilitar o preenchimento do espaço

poroso com as partículas dispersas. Com isso, além da umidade, textura, estrutura, história de tensão e densidade do solo, como proposto pela literatura (Dias Junior, 1994; Dias Junior & Pierce, 1995; Dias Junior & Pierce, 1996), a adsorção de P pode afetar a compressibilidade do solo.

Os objetivos deste estudo foram, portanto, avaliar o efeito da adsorção de fosfato nos limites de consistência e na compressibilidade de um Cambissolo e de um Latossolo Vermelho-Escuro da microrregião dos Campos da Mantiqueira (MG).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Solos: localização e materiais de amostragem

Foram estudados um Latossolo Vermelho-Escuro com teores de carbono orgânico entre 17 e 22 g kg<sup>-1</sup>, e com relações Ki entre 0,73 e 0,76 e Kr entre 0,56 e 0,57, tratando-se, portanto, de um solo oxidico e um Cambissolo com 12 a 20 g kg<sup>-1</sup> de carbono, e relações Ki e Kr variando de 1,55 a 1,61 e 1,15 a 1,19, respectivamente, sendo portanto, um solo de mineralogia caulinitica. Ambos os solos são originários de rochas pelíticas pobres. O material de origem do Latossolo Vermelho-Escuro, com teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> variando de 156 a 163 g kg<sup>-1</sup>, é da formação Carandaí e Andrelândia. O Cambissolo, com teor de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> entre 145 a 151 g kg<sup>-1</sup>, é formado a partir de material do grupo São João Del Rei (Giarola, 1994). O local de amostragem encontra-se entre os paralelos 21°15' e 21°50' de latitude sul e os meridianos 44°15' e 44°45' de longitude, a oeste de Greenwich, na microrregião dos Campos da Mantiqueira (MG).

As amostras foram coletadas nas camadas de 0-3 e 27-30 cm, com estrutura indeformada, usando anéis de 6,52 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura, para os ensaios de compressibilidade, e com estrutura deformada para as demais determinações.

### Caracterização química, física e mineralógica

Amostras foram caracterizadas química, física e mineralogicamente (Quadro 1). Como parte da caracterização química, foi avaliada a capacidade máxima de adsorção de fosfato (CMAP), a partir da isoterma de Langmuir linearizada. O procedimento para a determinação da CMAP foi baseado no fósforo remanescente (Pr), conforme Alvarez V. & Fonseca (1990), empregando 2,5 cm<sup>3</sup> de TFSA agitada por 24 h em 25 mL de CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup> contendo concentrações crescentes de P (Olsen & Watanabe, 1957). Após o período de agitação, a suspensão foi centrifugada e o valor de P medido no sobrenadante de acordo com Braga & Defelipo (1974).

Foram também medidos os valores de pH, matéria orgânica (EMBRAPA, 1997) e estimado o ponto de carga zero (PCZ), de acordo com Keng & Uehara (1974). Os teores de caulinita e gibbsita foram avaliados por análise térmica diferencial (ATD), em equipamento da BP engenharia (Campinas, SP).

A caracterização física foi feita em amostras tratadas com e sem fósforo. No tratamento com fósforo, adicionou-se fósforo até atingir a capacidade máxima de adsorção da amostra, durante as etapas de pré-umedecimento ou de saturação das amostras de acordo com o parâmetro avaliado. As análises granulométricas foram feitas pelo método da pipeta (Day, 1965), empregando-se também NaOH como dispersante químico e agitação rápida a 12.000 rpm

**Quadro 1. Caracterização física, química e mineralógica de amostras de um Cambissolo e de um Latossolo Vermelho-Escuro da microrregião dos Campos da Mantiqueira (MG)**

Camada	Característica física*								Característica química*				Carac. mineralógica			
	Teor de argila			IF <sup>(1)</sup>		Agregados (mm)		DMG <sup>(2)</sup> mm	CMAP <sup>(3)</sup>	pH		PCZ <sup>(4)</sup>	M.O. <sup>(5)</sup>	Ct <sup>(6)</sup>	Gb <sup>(7)</sup>	Ct/(Ct+Gb)
	NaOH <sup>(8)</sup>	ADP <sup>(9)</sup>	ADA <sup>(10)</sup>	ADA	ADP	> 2,00	< 0,25			H <sub>2</sub> O	KCl					
cm	g kg <sup>-1</sup>								mg kg <sup>-1</sup>				g kg <sup>-1</sup>			
<b>Cambissolo</b>																
0-3	570	390	303	468	316	654	247	1,40	939	5,1	4,1	3,3	34	450	100	0,81
27-30	588	463	316	462	272	678	267	1,35	1.119	5,2	4,2	3,2	21	443	92	0,82
<b>Latossolo Vermelho-Escuro</b>																
0-3	663	220	150	774	517	771	222	1,89	1.299	5,2	4,4	3,6	38	240	400	0,37
27-30	685	410	185	730	401	672	238	1,47	1.559	5,3	4,6	3,9	29	250	380	0,39

<sup>(1)</sup> Índice de floculação. <sup>(2)</sup> diâmetro médio geométrico. <sup>(3)</sup> capacidade máxima de adsorção de fósforo. <sup>(4)</sup> ponto de carga zero. <sup>(5)</sup> matéria orgânica. <sup>(6)</sup> caulinita. <sup>(7)</sup> gibbsita. <sup>(8)</sup> argila dispersa pelo hidróxido de sódio. <sup>(9)</sup> argila dispersa em solução de fósforo. <sup>(10)</sup> argila dispersa em água.

\* Média de três repetições.

por 15 min. A estabilidade de agregados foi determinada por meio de peneiramento úmido, de acordo com Kemper & Rosenau (1986), e o diâmetro médio geométrico (DMG) foi calculado conforme Kemper & Chepil (1965). A determinação do teor de argila dispersa em água (ADA) seguiu o método da EMBRAPA (1997). Para avaliar o teor de argila dispersa com fósforo (ADP), seguiu-se o procedimento da ADA (EMBRAPA, 1997), empregando-se solução de P, ao invés de água, com quantidade de P suficiente para se atingir a CMAP dos 10 g de TFSA empregados na análise.

O índice de floculação (IF) foi calculado com base nas expressões:

$$IF_1 = \left( \frac{AT - ADA}{AT} \right) 100 \quad (1)$$

$$IF_2 = \left( \frac{AT - ADP}{AT} \right) 100 \quad (2)$$

$IF_1$ : índice de floculação, empregando-se ADA (g kg<sup>-1</sup>)

$IF_2$ : índice de floculação, empregando-se ADP (g kg<sup>-1</sup>)

AT: argila total, empregando-se NaOH (g kg<sup>-1</sup>)

ADA: argila dispersa em água (g kg<sup>-1</sup>)

ADP: argila dispersa com P (g kg<sup>-1</sup>)

Os limites de liquidez (LL) e de plasticidade (LP) foram determinados conforme o método de Sowers (1965), e o limite de contração (LC) foi determinado de acordo com Bowles (1986). Para verificar o efeito do fósforo nestes limites, foram incubados 500 g de cada amostra em água e em solução de P, equivalente à capacidade máxima de adsorção de P, durante o pré-tratamento.

### Ensaio de compressibilidade

As amostras indeformadas (6,52 cm de diâmetro por 2,54 cm de altura) foram saturadas por capilaridade, metade em água pura e metade em solução de fósforo, com P suficiente para atingir a capacidade máxima de adsorção (CMAP). Após 48 h, as amostras foram transferidas para o extrator de placa porosa para equilibrar as tensões de 0,002, 0,010 e 1,5 MPa. As umidades gravimétricas de 0,25 e 0,05 kg kg<sup>-1</sup> foram equilibradas, naturalmente, à temperatura ambiente, já que não foi possível obter estes conteúdos a partir de sucções, em laboratório. Depois de equilibradas, as amostras foram submetidas aos ensaios de compressibilidade, segundo método de Dias Junior (1994), utilizando-se o consolidômetro da marca Boart Longyear, aplicando-se cada nível de pressão até que 90% da deformação máxima na amostra fosse obtida (Holtz & Kovacs, 1981). As pressões foram aplicadas na seguinte seqüência: 25, 50, 100, 200, 400, 800 e 1.600 kPa. A partir das curvas de compressão, foram obtidas as pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), as quais

foram plotadas em função da umidade (U) e ajustadas ao modelo proposto por Dias Junior (1994) e Dias Junior & Pierce (1996):

$$\sigma_p = 10^{(a + bU)} \quad (3)$$

em que

$\sigma_p$ : pressão de preconsolidação (kPa)

a, b: parâmetros de ajuste

U: umidade gravimétrica (kg kg<sup>-1</sup>)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O resumo estatístico dos parâmetros dos modelos ajustados estão apresentados no quadro 2. Os coeficientes de determinação variaram de 0,72 a 0,90, a 5% de significância, assegurando razoável poder explicativo dos modelos.

As pressões de preconsolidação, em amostras das camadas de 0-3 e 27-30 cm plotadas em função da umidade, nas condições com e sem P, estão apresentadas na figura 1. Verifica-se que a  $\sigma_p$  diminuiu com o aumento do teor de umidade, concordando com Dias Junior (1994) e Kondo (1998), em todas as amostras de solo, camada ou condição saturante estudada. Em todas as condições deste estudo, as amostras do Latossolo Vermelho-Escuro apresentaram menores valores de  $\sigma_p$  relativamente ao Cambissolo. Os valores mais reduzidos representam menor capacidade de suporte de carga e estão associados à estrutura granular do Latossolo, conferindo-lhe menor resistência à compactação. Por outro lado, a mineralogia caulinitica do Cambissolo e sua estrutura em blocos lhe conferiram maior resistência à compactação.

A camada superficial (Figuras 1a e 1b) em ambas as condições, com e sem P, apresentou valores de  $\sigma_p$  ligeiramente menores, quando comparados aos da camada subsuperficial (Figuras 1c e 1d). Isso se deve, provavelmente, a menores valores de densidade inicial ( $Ds_i$ ) e aos teores mais elevados de matéria orgânica (Quadro 1) que, certamente permitiu melhor acomodação da estrutura durante a aplicação das pressões.

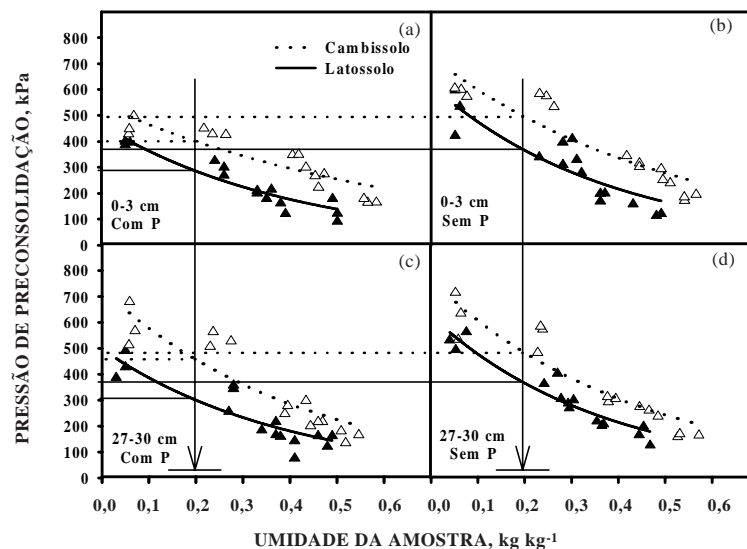
Verifica-se, ainda, que as amostras saturadas por solução de fósforo (Figuras 1a e 1c), comparadas às amostras saturadas por água (1b e 1d), também apresentaram menores valores de  $\sigma_p$ , mostrando o efeito diferenciado da adsorção de acordo com a camada de solo estudada.

Para efeito de comparação entre camadas, os valores de  $\sigma_p$  de amostras do Cambissolo e do Latossolo Vermelho-Escuro na condição de saturação por P foram também plotadas em função da umidade (Figura 2).

Menores valores de  $\sigma_p$  foram verificados na camada de 0-3 cm do Cambissolo, até a umidade de

**Quadro 2. Coeficientes de determinação, erro-padrão e ajuste do teste, obtidos a partir do modelo  $\sigma_p = 10^{(a+bU)}$  de amostras de Cambissolo e Latossolo Vermelho-Escuro em amostras tratadas com fósforo e água, a 5% de significância**

Camada	Condição	Parâmetro do modelo		R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> ajustado	Erro padrão	Ajuste do teste
		a	b				
<b>Cambissolo</b>							
0-3	Sem P	2,91	-1,02	0,87	0,86	0,077	0,999
	Com P	2,77	-0,81	0,80	0,79	0,077	0,999
27-30	Sem P	2,93	-1,20	0,90	0,89	0,074	1,000
	Com P	2,91	1,25	0,86	0,85	0,089	0,999
<b>Latossolo Vermelho-Escuro</b>							
0-3	Sem P	2,85	-1,43	0,81	0,80	0,102	0,999
	Com P	2,70	-1,19	0,83	0,81	0,085	0,999
27-30	Sem P	2,83	-1,34	0,89	0,89	0,899	1,000
	Com P	2,73	-1,26	0,72	0,70	0,127	0,991



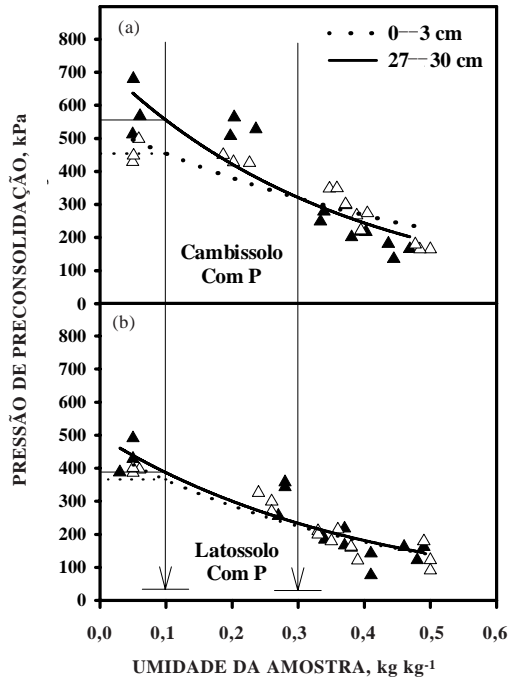
**Figura 1. Pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) em função da umidade (U), nas condições de saturação por água pura e por solução de P, nas camadas de 0-3 e 27-30 cm de Latossolo Vermelho-Escuro e de Cambissolo.**

aproximadamente  $0,30 \text{ kg kg}^{-1}$  (Figura 2a), o que representa, para esta camada, menor capacidade de suporte de carga. A partir desta umidade, na qual se verifica a intercessão das curvas, a camada de 27-30 cm passa a ser mais suscetível à compactação. A maior suscetibilidade à compactação da camada superficial deste solo, até este conteúdo de umidade, pode ser atribuída aos valores mais reduzidos de  $D_s$  relacionados com teores mais elevados de matéria orgânica, como mostrado no quadro 1. Maiores teores de matéria orgânica condicionam maior retenção de água e, por conseguinte, favorecem a compressibilidade. Por outro lado, a camada subsuperficial com

baixos teores de matéria orgânica, maiores teores de argila e menor contribuição de óxidos favorece uma estrutura em blocos mais compacta, possibilitando maior resistência às forças compressivas. Entretanto, acima de  $0,30 \text{ g kg}^{-1}$ , a situação se inverte, provavelmente pela maior lubrificação das partículas, que favorece a compressibilidade.

Do ponto de vista prático, considerando um valor de umidade de  $0,20 \text{ kg kg}^{-1}$  e as  $\sigma_p$  correspondentes ao ponto de intercessão da perpendicular com as curvas ajustadas em cada caso (Figuras 2a e 2b), verifica-se maior suscetibilidade da camada de 0-3 cm do Latossolo Vermelho-Escuro à compactação,



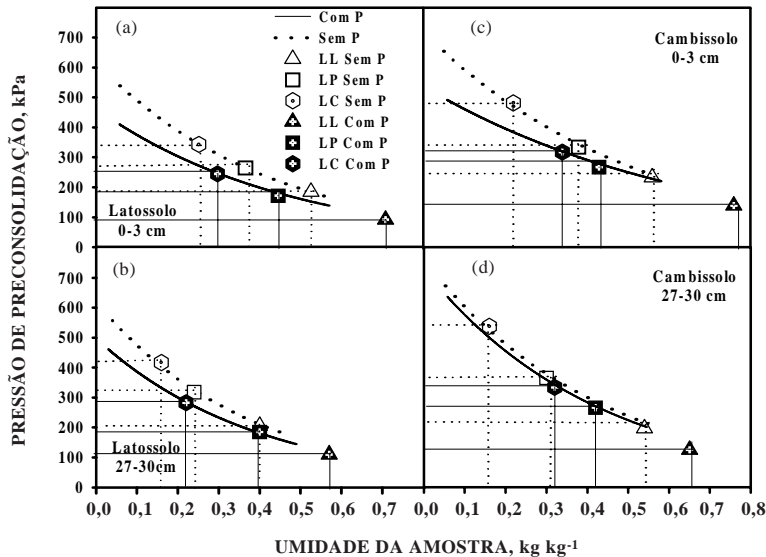


**Figura 2. Pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) em função da umidade (U), nas camadas de 0-3 e 27-30 cm, nas condições de saturação por P de Latossolo Vermelho-Escuro e de Cambissolo.**

quando comparada à mesma camada do Cambissolo. Esta observação pode ser visualizada quando se estima a  $\sigma_p$  para as duas camadas, em ambos os solos. Assim, o Latossolo Vermelho-Escuro à umidade de 0,10 kg kg<sup>-1</sup>, nas camadas de 0-3 e 27-30 cm, pode suportar pressões de aproximadamente 360 e

390 kPa, respectivamente (Figura 2b). Já o Cambissolo suporta 380 kPa, para a camada de 0-3 cm, e 420 kPa, para a camada de 27-30 cm. Isto sugere que a pressão máxima passível, a ser aplicada por qualquer equipamento agrícola durante uma operação motomecanizada no Cambissolo, nas condições deste estudo, é superior àquela possível de ser aplicada no Latossolo Vermelho-Escuro, pois este último pode sofrer deformações plásticas não-recuperáveis a menores pressões. Tais resultados de compressibilidade discordam daqueles sugeridos pelos da estabilidade de agregados, DMG e índice de floculação (Quadro 1), os quais levam a inferir que o Cambissolo é mais susceptível à compactação. Tal comportamento está relacionado com a composição mineralógica mais gibbsítica do Latossolo Vermelho-Escuro que, favorecendo a formação de estrutura mais granular, proporciona maior estabilidade e menor tamanho de agregados, ao mesmo tempo que permite maior acomodação da massa do solo, resultando em menor capacidade de suporte de cargas.

O efeito da adsorção de P na compressibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro é mostrado na figura 3. O deslocamento vertical das curvas das pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) versus a umidade, U (Figuras 3a e 3b), implica menores pressões de preconsolidação. A adsorção de P proporcionou, então, menor resistência das amostras deste solo às pressões aplicadas, resultando em menor capacidade de suporte de carga. Isto se deve à alta afinidade dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al deste solo com o íon fosfato, favorecendo a dispersão de agregados e melhor ajuste de partículas no espaço poroso, propiciando maior deformação com a pressão aplicada. O efeito da adsorção de fosfato pode ser



**Figura 3. Pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ) em função da umidade (U), nas condições de saturação com e sem P, nas camadas de 0-3 e 27-30 cm de Latossolo Vermelho-Escuro e de Cambissolo.**

**Quadro 3. Pressões de preconsolidação ( $\sigma_p$ ), obtidas pelas equações de regressões a partir do modelo ( $\sigma_p = 10^{(a+bU)}$ ), em função dos limites liquidez (LL), plasticidade (LP), contração (LP) e a variação da  $\sigma_p$  da zona de friabilidade ( $\Delta\sigma_{p,ZF}$ ) de plasticidade ( $\Delta\sigma_{p,ZP}$ ) de amostras de Cambissolo e Latossolo Vermelho-Escuro, nas camadas de 0-3 e 27-30 cm, nas condições de saturação com e sem fósforo**

Camada	Condição	Limite de consistência			$\Delta_{UZP}$	$\sigma_p = f(\text{consistência})$				
		LL	LP	LC		$\sigma_{p,LL}$	$\sigma_{p,LP}$	$\sigma_{p,LC}$	$\Delta\sigma_{p,ZF}^{(1)}$	$\Delta\sigma_{p,ZP}^{(2)}$
cm		kg kg <sup>-1</sup>				$\sigma_p$ (kPa)				
<b>Cambissolo</b>										
0-3	Sem P	0,56	0,38	0,22	0,16	218	330	485	155	112
	Com P	0,76	0,43	0,34	0,09	143	264	311	47	121
27-30	Sem P	0,54	0,30	0,16	0,14	191	366	538	172	175
	Com P	0,65	0,42	0,32	0,10	127	247	327	80	120
<b>Latossolo Vermelho-Escuro</b>										
0-3	Sem P	0,44	0,32	0,22	0,10	166	247	343	96	81
	Com P	0,62	0,39	0,26	0,13	92	172	245	73	80
27-30	Sem P	0,40	0,24	0,16	0,08	197	318	417	90	121
	Com P	0,57	0,34	0,22	0,12	110	200	283	83	90

<sup>(1)</sup> Variação entre a  $\sigma_p$  no limite de plasticidade - LP e a  $\sigma_p$  no limite de plasticidade - LC. <sup>(2)</sup> Variação entre a  $\sigma_p$  no limite de liquidez - LL e a  $\sigma_p$  no limite de plasticidade - LP.

mais bem visualizado quando se compara a camada de 27-30 cm do Latossolo (Figura 3b), que apresenta maior capacidade de adsorção, com a mesma camada no Cambissolo (Figura 3d), que apresenta relativamente menor capacidade de adsorção de P.

A baixa resposta do Cambissolo à adsorção de P (Figuras 3c e 3d) em relação ao Latossolo Vermelho-Escuro deveu-se aos seus baixos teores de óxidos e à mineralogia caulinitica (Quadro 1), que acarretaram menor adsorção e, provavelmente, menor efeito na dispersão das partículas.

No Latossolo (Figuras 3a e 3b) e na camada superficial do Cambissolo (Figura 3c), percebe-se uma redução gradativa na intensidade do efeito da adsorção de P com o aumento da umidade, sugerindo que, a partir de determinada umidade, há redução do efeito do P e aumento do efeito da umidade na compressibilidade.

Com relação aos limites de consistência do solo, a figura 3 também permite verificar um deslocamento destes para valores mais elevados de umidade, na condição em que a amostra foi saturada por P. Isto implica menores  $\sigma_p$  e, por conseguinte, menor capacidade de suporte de carga dos solos nos níveis de umidade correspondentes a estes limites (Quadro 3). Assim, do ponto de vista do manejo, para que se perceba melhor o efeito do fósforo na capacidade de suporte de carga destes solos, foram estimadas as  $\sigma_p$  para cada limite de consistência nas condições de saturação com e sem P, em ambas as camadas estudadas. Determinou-se, então, a variação das  $\sigma_p$  nas zonas de plasticidade e friabilidade (Quadro 3), conforme sugerido por Kondo (1998).

A redução de  $\sigma_p$  referente a cada limite de consistência (LL, LP e LC) nas amostras saturadas por P implica, de maneira geral, redução da zona da capacidade de trabalho e tráfego dos solos, significando maior risco de compactação.

## CONCLUSÕES

1. As curvas obtidas pelos modelos de compressibilidade do Latossolo Vermelho-Escuro e do Cambissolo nas camadas de 0-3 e 27-30 cm, saturadas por solução de P, deslocaram-se verticalmente para baixo, refletindo menores pressões de preconsolidação e, por conseguinte, menor capacidade de suporte de carga.

2. As camadas de 0-3 e 27-30 cm do Latossolo Vermelho-Escuro, na condição de saturação por P, apresentaram menores pressões de preconsolidação relativamente ao Cambissolo, evidenciando maior suscetibilidade do Latossolo à compactação.

3. A adsorção de fósforo promoveu o deslocamento dos limites de consistência dos solos estudados para valores mais elevados de umidade, reduzindo as zonas de capacidade de trabalho e tráfego.

## 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)
- BALLESTERO, S.D. Efeito da semeadura de milho em quatro níveis de umidade na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992. 89p. (Tese de Doutorado)
- BARNES, K.K.; CARLETON, W.M.; TAYLOR, H.M.; THROCKMORTON, R.I. & van den BERG, G.E. Compaction of agricultural soils. St. Joseph, ASAE, 1971. 471p. (Monogr.)
- BOWLES, J.A. Engineering properties of soils and their measurements. New York, McGraw-Hill, 1986. 218p.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de fósforo em extratos de solo e material vegetal. R. Ceres, 21:73-85, 1974.
- CURI, N. Litosequence and toposequence of Oxisols from Goiás and Minas Gerais States, Brazil. West Lafayette, Purdue University, 1983. 158p. (Tese de Doutorado)
- DAY, P.R. Particle fractionation and particle size analysis. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.545-566.
- 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)
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. A simple procedure for estimating preconsolidation pressure from soil compression curves. Soil Technol., 8:139-151, 1995.
- DIAS JUNIOR, M.S. & PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. R. Bras. Ci. Solo, 20:175-182, 1996.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- GIAROLA, N.F.B. Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região de influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG). Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1994. 226p. (Tese de Mestrado)
- GUPTA, S.C.; HARDAS, A.; VOORHEES, W.B.; WOLF, D.; LARSON, W.E. & SCHNEIDER, E.C. Development of quids for estimating the ease of compaction of world soils. Bet Dagan, Israel, Binational Agric. Res. Development, University of Minnesota, 1985. 178p. (Research Report)
- 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.
- HOLTZ, R.D. & KOVACS, W.D. Introduction to geotechnical engineering. Englewood Cliffs, Prentice-Hall, 1981. 773p.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. Methods of soil analysis; physical and mineralogical properties including statistics of measurement and sampling. Madison, American Society of Agronomy, 1965. v.1, p.499-510.
- KEMPER, W.D. & ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A., ed. Methods of soils analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1986. v.1. p.425-442.
- KENG, J.C. & UEHARA, G. Chemistry, mineralogy and taxonomy of Oxisols and Udisols. Soil Crop Sci. Soc., 31:119-126, 1974.
- KONDO, M.K. Compressibilidade de três Latossolos sob diferentes usos. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 1998. 105p. (Tese de Mestrado)
- LARSON, W.E. & GUPTA, S.C. Estimating critical stress in unsaturated soil from changes in pore water pressure during confined compression. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:1127-1132, 1980.
- LARSON, W.E.; BLAKE, G.R.; ALLMARAS, R.R.; VOORHEES, W.B. & GUPTA, S.C. Mechanics and related processes in structured agricultural soils. Dordrecht, Kluwer Academic Published, 1989. 273p. (Nato Applied Science, 172)
- LARSON, W.E.; GUPTA, S.C. & USECHE, R.A. Compression of agricultural soils from eight soil orders. Soil Sci. Soc. Am. J., 44:450-457, 1980.
- MAZIERO, J.V.G. Compactação do solo por patinação da roda motriz de um trator agrícola. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1993. 105p. (Tese de Mestrado)
- OLSEN, R.B. & WATANABE, F.S. A method of determine a phosphorus adsorption maximum of soils as mesured by the Langmuir isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 21:144-149, 1957.
- 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)
- RIBEIRO, S.A. Efeitos da colheita mecânica na produção de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum). Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1987. 64p. (Tese de Mestrado)
- SAWHNEY, B.L. Charge characteristics of soils as affected by phosphate sorption. Soil Sci. Soc. Am. J., 38:159-160, 1974.
- SOWERS, G.F. Consistency. In: BLACK, C. A., ed. Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.391-399.
- SPOSITO, G. Surface reactions in natural and aqueous colloidal systems. Chimia, 43:169-176, 1989.