



## **Avaliação do potencial de compactação em Latossolos por meio do ensaio de Proctor<sup>(1)</sup>**

**Karina de Vares Rossetti<sup>(2)</sup>; José Frederico Centurion<sup>(3)</sup> & Amauri Nelson Beutler<sup>(4)</sup>;**

<sup>(1)</sup> Trabalho executado com recurso da Capes (bolsa)

<sup>(2)</sup> Doutoranda do PPG em Produção Vegetal (bolsista Capes); UNESP; Jaboticabal, SP; E-mail: krossetti@bol.com.br; <sup>(3)</sup> Professor Adjunto; UNESP; Jaboticabal, SP; E-mail: jfcentur@fcav.com.br; <sup>(4)</sup> Professor Adjunto; UNIPAMPA, Itaqui, RS; E-mail: amaurib@yahoo.com.br.

**RESUMO:** Para que o solo se mantenha como recurso natural sustentável, as práticas agrícolas mecanizadas devem ocorrer em conteúdo de água adequado para evitar deformações não recuperáveis do solo. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio do ensaio de Proctor, o potencial de compactação em LVd e LVef sob pressões induzidas por tratores e correlacioná-lo com a produtividade do milho. O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos foram: T0= sem compactação; T1, T2 e T3= uma passada do trator de 4, 7 e 10 t, respectivamente, e T4= três passadas do trator de 10 t. A camada de solo avaliada foi de 0-0,10 m de profundidade, onde foram determinadas a densidade máxima do solo ( $D_{smáx}$ ), a umidade crítica de compactação ( $U_{gc}$ ), e a porosidade do solo. A  $D_{smáx}$  e a  $U_{gc}$  oscilaram de 1,84 a 1,87  $kg\ dm^{-3}$  e de 0,13 a 0,15  $kg\ kg^{-1}$  para o LVd e 1,58 a 1,61  $kg\ dm^{-3}$  e 0,22 a 0,26  $kg\ kg^{-1}$  no LVef, respectivamente. As operações mecanizadas podem ser executadas com menor risco de degradação física, quando o conteúdo de água for menor do que 0,13 e 0,22  $kg\ kg^{-1}$  para o LVd e LVef, respectivamente.

**Termos de indexação:** suscetibilidade à compactação, tráfego de máquinas.

### **INTRODUÇÃO**

O tráfego de máquinas em áreas agrícolas tem como finalidade facilitar o trabalho do homem no campo, porém quando esse ocorre em conteúdo de água no solo inadequado pode promover compactação superficial do solo, sendo esta mais evidente próximo à camada de 0,10 m. Isto é verificado por alterações estruturais no solo, resultado do rearranjo das partículas e de seus agregados, o que aumenta a densidade, a resistência do solo à penetração e reduz a porosidade, podendo comprometer o crescimento, o desenvolvimento radicular e da parte aérea das culturas (Camargo & Alleoni, 1997).

Neste aspecto, Silva et al. (2010) salientam que o conteúdo de água em que ocorre a máxima compactação pode estar na consistência friável, que

é a condição de água no solo, onde são realizadas as operações de preparo e semeadura, portanto trata-se de uma constatação preocupante. De acordo com Cortez (2013) situações como essas descritas, devem ser evitadas uma vez que a subsolagem, prática que visa à descompactação do solo, possui elevado custo operacional e elevada demanda energética.

Para avaliar a suscetibilidade do solo à compactação, pode-se realizar o ensaio de Proctor normal, o qual se aplica energia por golpes de um soquete sobre o solo contido num molde, e a massa específica resultante é função do tipo de solo e da umidade em que o solo estiver. Assim, pode-se determinar a curva de compactação de um solo e estimar o ponto em que se obtém a densidade máxima ( $D_{smáx}$ ) e a umidade crítica de compactação ( $U_{gc}$ ), em que ocorre a máxima compactação do solo. Segundo Proctor (1933), em um solo argiloso com umidade inferior à  $U_{gc}$ , há ocorrência de forças capilares elevadas, que são responsáveis por ligações fortes entre partículas que se opõem às forças de compactação, originando, assim, um volume de vazios elevado.

Luciano et al. (2012) verificaram que o tipo de solo caracterizado pela textura e mineralogia também tem influência na  $D_{smáx}$ . Sendo que para Luciano et al. (2012) a  $D_{smáx}$  decresceu na seguinte ordem: RLd > CHa > NBd > NVa > RLh, pois a  $D_{smáx}$  aumenta com o teor de areia total e areia fina, e reduz com os teores de argila. Neste aspecto, Beutler et al. (2005) encontraram valores de 1,85  $Mg\ m^{-3}$  para um LVd com 271  $g\ kg^{-1}$  de argila e de 1,54  $Mg\ m^{-3}$  para um LVef com 517  $g\ kg^{-1}$  de argila. Esses autores constataram que a  $D_{smáx}$  foi obtida em conteúdos de água de 0,14 e 0,27  $kg\ kg^{-1}$  para o LVd e LVef, respectivamente. Complementando este assunto, Rossetti et al. (2012) comprovaram que na faixa de 0,13 a 0,19  $kg\ kg^{-1}$  de conteúdo de água em LVd as operações mecanizadas podem ser realizadas sem degradação física.

A hipótese desta pesquisa é que o tráfego de máquinas sobre conteúdo de água inadequado pode promover a compactação do solo até condições prejudiciais ao desenvolvimento da cultura. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio



do ensaio de Proctor, o potencial de compactação em LVd e LVef sob pressões induzidas por tratores.

### MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em Jaboticabal-SP, situado nas coordenadas geográficas de 21°14'05" S, 48°17'09" W, com altitude de 615 m. O clima da região, de acordo com a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, com verão quente e inverno seco, precipitação pluvial média anual de 1.428 mm e temperatura média de 21 °C. Os solos foram caracterizados conforme Embrapa (2013) como Latossolo Vermelho distrófico, típico, textura média, A moderado, caulinitico-hipoférrico (LVd), e como Latossolo Vermelho eutroférrico, típico, textura argilosa, A moderado, caulinitico-oxídico (LVef) (**Tabela 1**). Antes da instalação dos experimentos, foi realizada a escarificação até 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem leve.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O solo foi escarificado, nivelado e em 26 de novembro de 2012 foram constituídos os tratamentos: T0= sem tráfego de trator; T1, T2 e T3= uma passada do trator de 4; 7 e 10 t, respectivamente; T4= três passadas do trator de 10 t, uma ao lado da outra, no sentido do declive da área. O conteúdo de água no solo durante a compactação esteve próximo à capacidade de campo, 0,12 e 0,22 kg kg<sup>-1</sup> para o LVd e LVef, respectivamente. Como testemunha, foram utilizadas áreas de mata nativa (MN) de ambos os solos por se tratar de uma condição sem ação antrópica.

Para a avaliação do ensaio de Proctor normal, com reutilização de material, amostras deformadas foram coletadas na camada de 0-0,10 m logo após a compactação do solo, secas ao ar em ambiente protegido do sol e passadas em peneira de 4,0 mm. A determinação da densidade máxima do solo (Dsmáx) consistiu na adição de água para verificar a consistência da amostra, seguiu-se a sua homogeneização e adição de solo até um terço do cilindro de 0,10 m por 0,13 m de altura, que foi submetido a 25 golpes de um soquete de 2,5 kg, caindo à altura de 0,30 m, correspondendo a uma energia de 560 kPa. Em seguida, adicionou-se mais uma camada de solo até atingir dois terços, e depois outra, até atingir a superfície do cilindro. Nos pontos seguintes, adicionou-se mais água, até que se verificou diminuição da densidade do solo para a obtenção posterior do ajuste quadrático da equação entre a densidade do solo x umidade.

Para cada amostra, obtiveram-se sete pares de valores de umidade gravimétrica (Ug) e densidade do solo (Ds), com os quais se ajustou a equação:

$$Ds = a + bUg + cUg^2 \quad (1)$$

em que, Ds é a densidade do solo (kg dm<sup>-3</sup>); Ug, a umidade gravimétrica do solo (kg kg<sup>-1</sup>); a, b e c, os parâmetros da equação.

Fazendo-se a derivada primeira da equação 1, foi obtida a umidade crítica para máxima compactação ou umidade crítica de compactação (Ugc):

$$Ugc = -b/2a \quad (2)$$

Dessa forma, a Dsmáx pode ser calculada por:

$$Dsmáx = -(b^2 - 4ac)/4a \quad (3)$$

em que Dsmáx é a densidade máxima do solo (kg dm<sup>-3</sup>). Nessa mesma camada, foram retiradas amostras para a análise de matéria orgânica (MO), segundo Raji et al. (2001). Para avaliar os atributos físicos do solo, em 21 de janeiro de 2013, foram coletadas amostras indeformadas na camada de 0-0,10 m, utilizando cilindros de 53,16 10<sup>-6</sup> m<sup>3</sup> (0,032 m de altura e 0,046 m de diâmetro), para determinar a densidade do solo (Ds), a microporosidade (Mic) foi determinada por secagem (tensão de 0,006 MPa) em mesa de tensão; e a macroporosidade (Mac) foi obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade (Embrapa, 2011). Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo software ASSISTAT versão 7.5 beta; e quando significativa às médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao observar as curvas de compactação obtidas por meio do ensaio de Proctor normal no LVd e no LVef (**Figura 1**), verifica-se que os manejos de preparo convencional e as compactações induzidas por tratores deslocaram as curvas para a esquerda e para cima de forma semelhante em comparação a MN, proporcionando menores valores de Ugc e maiores de Dsmáx.

Os tratamentos estudados de compactação T1, T2, T3 e T4 não influenciaram a Ugc, comparado ao T0. Pode-se observar para o LVef que a Ugc atingiu valores superiores em relação ao LVd. Esse fato ocorre devido aos maiores teores de matéria orgânica (**Tabela 2**) e de argila do LVef de 560 g kg<sup>-1</sup>, que aumentam a adsorção de água pelo solo, comparado ao LVd. Dessa maneira, o LVd compacta-se em menor conteúdo de água. Esse comportamento, segundo Luciano et al. (2012), reafirma a importância de estudar diferentes tipos de solo que ocorrem em uma região a fim de estabelecer valores de referência de Ugc e Dsmáx. Na MN, também foram obtidos maiores valores de Ugc, em razão de o teor de matéria orgânica ser duas vezes, ou mais, superior em relação ao solo cultivado.



No momento do tráfego do trator no campo, o conteúdo de água no LVd foi de  $0,12 \text{ kg kg}^{-1}$ , valor próximo da Ugc, que variou de  $0,13$  a  $0,15 \text{ kg kg}^{-1}$ . Para a condição do LVef, a umidade do solo foi de  $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$  durante a compactação pelos tratores no campo, valor igual à Ugc obtida no T4; portanto, em que ocorreu a máxima compactação em laboratório. Já nos tratamentos T0, T1, T2 e T3, a Ugc variou de  $0,24$  a  $0,26 \text{ kg kg}^{-1}$  de conteúdo de água e estavam com menor grau de suscetibilidade à compactação no momento do tráfego do trator no campo.

O LVd apresentou os maiores valores de areia e os menores de argila e MO, comparado ao LVef, resultando em maior valor de Dsmáx e menor Ugc. Segundo Silva et al. (1986), a posição do ponto máximo da curva de compactação é influenciada pelo teor de argila, MO, e estes também influenciam a posição da curva de compactação ao longo do eixo da umidade, enquanto o teor de areia influi na amplitude da curva de compactação. Em relação à argila, esta apresenta maior capacidade de troca catiônica (CTC) e maior área superficial específica do que a areia, e interage mais com a água, diminuindo o efeito lubrificante entre as partículas minerais; dessa maneira, em solo mais argiloso, há maior coesão entre as partículas de solo e menor suscetibilidade à compactação do solo em relação ao solo arenoso, segundo Braida et al. (2006), necessitando de maior conteúdo de água no solo para que ocorra a compactação e a Dsmáx.

O valor superior de Dsmáx para o LVd, deve-se a mineralogia, ao maior teor de areia ( $310$  e  $280 \text{ g kg}^{-1}$  de areia fina e areia grossa, respectivamente) e de densidade de partícula ( $2,89 \text{ kg dm}^{-3}$ ) em comparação ao LVef. A razão Ct/(Ct + Gb), diminuiu do LVd ( $0,75$ ) para o LVef ( $0,45$ ), coincidindo com o aumento dos óxidos de Fe no mesmo sentido ( $60$  e  $230 \text{ g kg}^{-1}$  de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  para o LVd e LVef, respectivamente) (Tabela 1).

Neste estudo, os valores de Dsmáx e Ugc não mostraram diferença estatística para o LVd ( $1,84$  a  $1,87 \text{ kg dm}^{-3}$ ) nem para o LVef ( $1,58$  a  $1,61 \text{ kg dm}^{-3}$ ) em relação aos tratamentos de compactação realizados no campo. Isto justifica-se em decorrência da utilização de amostras deformadas de solo e pela não variação na composição granulométrica, mineralogia e MO, que são os principais responsáveis por essas alterações na Dsmáx e Ugc entre esses tratamentos de tráfego de máquinas. Assim, o tráfego de máquinas sobre o solo pode aumentar sua compactação, porém sem influenciar a Dsmáx e Ugc obtida no ensaio de Proctor normal, indicando que essa avaliação não foi adequada para avaliar a compactação do solo e

ocorreu no campo, por exemplo, a maior Ds e menor Mac no T4 no LVef.

## CONCLUSÕES

As operações mecanizadas podem ser executadas com menor risco de degradação física, quando o conteúdo de água no solo for menor do que  $0,13$  e  $0,22 \text{ kg kg}^{-1}$  para o LVd e LVef, respectivamente.

## REFERÊNCIAS

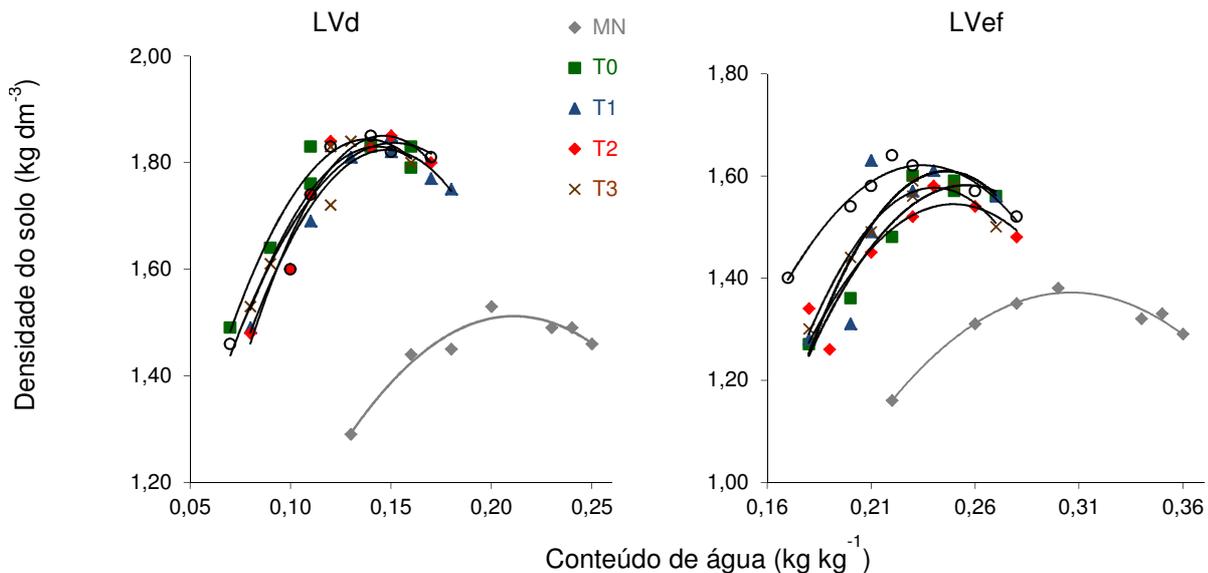
- BEUTLER, A. N.; CENTURION, J. F.; ROQUE, C. G. & FERRAZ, M. V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. R. Bras. Ci. Solo, 29:843-849, 2005.
- BRAIDA, J. A.; REICHERT, J. M.; VEIGA, M. & REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio de Proctor. R. Bras. Ci. Solo, 30:605-614, 2006.
- CAMARGO, O. A. & ALLEONI, S. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba, Degaspari, 1997. 132 p.
- CORTEZ, L. A. Subsolação em profundidade variada com base no mapeamento de áreas de manejo específico. Jaboticabal, Universidade Estadual Paulista, 2013. 57p. (Dissertação de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. rev. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. 230 p. Disponível em <<http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/>>. Acesso em 03 mar. 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. 3. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa, 2013. 353p.
- LUCIANO, R. V.; ALBUQUERQUE, J. A.; COSTA, A.; BATISTELLA, B. & WARMLING, M. T. Atributos físicos relacionados à compactação de solos sob vegetação nativa em região de altitude no sul do Brasil. R. Bras. Ci. Solo, 36:1733-1744, 2012.
- PROCTOR, R. R. Fundamental principles of soil compaction. Eng. News Rec., 5: 286-289, 1933.
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J. A.; Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.
- ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F.; OLIVEIRA, P. R. & ANDRIOLI, I. Atributos físicos nos tempos de adoção de manejos em Latossolo cultivado com soja. R. Bras. Ci. Solo, 36:367-376, 2012.
- SILVA, A. P.; LIBARDI, P.L. & CAMARGO, O. A. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. R. Bras. Ci. Solo, 10:91-95, 1986.
- SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JÚNIOR, M. S.; IMHOFF, S. & KLEIN, V. A. Indicadores da qualidade física do solo. In: JONG VAN LIER, Q., ed. Física do solo. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p.241-281



**Tabela 1-** Composição granulométrica e teores dos óxidos de ferro da fração argila em LVd e LVef

Solo	-----g kg <sup>-1</sup> -----				Dp kg dm <sup>-3</sup>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>+</sup> g kg <sup>-1</sup>	Ct/(Ct + Gb)*
	Argila	Areia fina	Areia grossa	Silte			
			0-0,10 m			0,60-0,80 m	
LVd	348	310	280	62	2,89	60	0,75
LVef	560	130	110	200	2,74	230	0,45

Dp: densidade de partícula; Ct: caulinita e Gb: gibbsita.



**Figura 1-** Curvas média de compactação em LVd e LVef. T0: sem compactação, T1, T2 e T3: uma passada do trator de 4, 7 e 10 t, respectivamente, T4: três passadas do trator de 10 t e MN: mata nativa.

**Tabela 2-** Resultados da análise de regressão quadrática da densidade do solo (Ds) em função da umidade (Ug), para os diferentes tratamentos na camada de 0-0,10 m

Variáveis	Unidade	Tratamento						CV (%) <sup>(1)</sup>
		T0	T1	T2	T3	T4	MN	
LVd								
Dsmáx	kg dm <sup>-3</sup>	1,86 a	1,84 a	1,87 a	1,84 a	1,85 a	1,52	1,74
Ugc	kg kg <sup>-1</sup>	0,14 a	0,15 a	0,14 a	0,13 a	0,15 a	0,21	7,97
Ds	kg dm <sup>-3</sup>	1,58 ab	1,37 b	1,44 ab	1,59 a	1,58 ab	1,21	6,45
Mac	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,154 a	0,206 a	0,216 a	0,137 a	0,128 a	0,292	25,98
Mic	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,216 a	0,212 a	0,218 a	0,215 a	0,225 a	0,240	4,79
MO	g dm <sup>-3</sup>	11 a	9 a	9 a	12 a	11 a	22	25,88
LVef								
Dsmáx	kg dm <sup>-3</sup>	1,59 a	1,61 a	1,58 a	1,58 a	1,60 a	1,38	3,45
Ugc	kg kg <sup>-1</sup>	0,25 a	0,25 a	0,26 a	0,24 a	0,22 a	0,30	8,62
Ds	kg dm <sup>-3</sup>	1,35 b	1,30 b	1,24 b	1,21 b	1,69 a	0,98	5,12
Mac	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,194 a	0,132 ab	0,140 ab	0,188 a	0,067 b	0,338	27,60
Mic	m <sup>3</sup> m <sup>-3</sup>	0,339 a	0,347 a	0,348 a	0,344 a	0,337 a	0,334	17,15
MO	g dm <sup>-3</sup>	18 a	19 a	18 a	19 a	17 a	55	6,73

T0: sem compactação, T1, T2 e T3: uma passada do trator de 4, 7 e 10 t, respectivamente, T4: três passadas do trator de 10 t e MN: mata nativa em Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Latossolo Vermelho eutrófico (LVef). Fc: valor do F calculado; P: probabilidade de se obter um valor de F ≥ Fc.