

Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um latossolo vermelho

Relative density - an indicator the physical quality of an oxisol

Vilson Antonio Klein¹

Recebido em 20/12/2005; aprovado em 11/08/2006.

RESUMO

A qualidade física do solo tem sido cada vez mais estudada, com o intuito de encontrar parâmetros que a possam identificar da melhor maneira. A densidade relativa (DR), razão entre a densidade do solo (DS) avaliada e a densidade máxima (DMS) determinada pelo teste de Proctor normal, é uma alternativa para quantificar essa qualidade do solo. Com amostras de um Latossolo Vermelho, coletadas no campo, determinou-se em laboratório a densidade máxima, utilizando teste de Proctor, bem como a densidade na qual ocorre a máxima disponibilidade de água às plantas com mínima restrição ao crescimento do sistema radicular. A densidade ideal para o solo estudado foi de 1,08 Mg m⁻³, a densidade limitante de 1,33 Mg m⁻³, enquanto que a densidade máxima foi de 1,51 Mg m⁻³. Com esses resultados, o valor da DR de um Latossolo Vermelho em que as condições ao desenvolvimento das plantas são consideradas ótimas é de 0,71 e limitantes maior que 0,88.

PALAVRAS-CHAVE: compactação do solo, densidade relativa, água no solo.

SUMMARY

The soil physical quality has been extensively studied so that appropriate parameters can be established for its assessment. The relative bulk density (DR), which is the ratio between the field observed value (DS) and the laboratory determined maximum density (DMS), has been an alternative to assess soil quality. Samples of an Oxisol were collected and the maximum density was determined in laboratory, using the standard

Proctor test. The bulk density where water maximum availability to plants occurs with minimal restriction to root growth was also assessed. The ideal density for the analyzed soil was 1.08 Mg m⁻³, whereas the DMS was 1.51 Mg m⁻³. These results indicate that the Oxisol DR for optimum and limiting plant growth conditions are 0.71 and ≥ 0.88 , respectively.

KEY WORDS: compaction, relative bulk density, water availability.

INTRODUÇÃO

A densidade do solo definida como o quociente de sua massa de sólidos por seu volume total, é afetada por cultivos, que alteram a estrutura e por consequência o arranjo e volume dos poros.

Segundo Beltrame e Taylor (1980), as causas naturais das alterações na DS são difíceis de serem definidas e avaliadas, agindo lentamente no solo, como por exemplo, a eluviação de argilas, e as antrópicas que são as forças mecânicas originadas da pressão causada pelos rodados das máquinas agrícolas e pela própria ação de implementos sobre o solo. O tráfego excessivo realizado indiscriminadamente sob diferentes condições de umidade do solo é o principal responsável pela compactação.

As práticas culturais afetam a DS, alterando a porosidade, a distribuição do diâmetro dos poros e a resistência mecânica do solo à penetração das raízes. Inúmeros trabalhos, avaliando a densidade do solo, em diferentes manejos, concluem que de modo geral o solo sob plantio direto apresenta densidade mais elevada (WOORHEES e LINDSTROM, 1983; SIDIRAS et al., 1984; VIEIRA, 1985; KLEIN e

¹ Eng.-Agr. Dr. Professor Titular Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária, Universidade de Passo Fundo. 99010-970, Passo Fundo, RS, Brasil, vaklein@upf.br

BOLLER, 1995).

Para Bueno e Vilar (1998), a compactação é entendida como a ação mecânica, por meio da qual há redução da porosidade, aumento da resistência ao cisalhamento e a redução da compressibilidade e da permeabilidade.

O fenômeno da compactação pode ser explicado, levando em conta a grande influência que a água intersticial exerce sobre os solos. Na parte seca da curva de compactação (Proctor), onde o solo possui baixa umidade, a água dos seus poros está retida sob efeito capilar e a tensão da água tende a aglutinar o solo mediante a coesão (solo-solo), “impedindo” a sua desintegração e o movimento relativo das partículas para um novo rearranjo. À medida que aumenta o teor de água, em forma de água livre, essa absorve parte considerável da energia de compactação aplicada (BUENO e VILAR, 1998).

Orellana et al. (1997) propuseram a metodologia para avaliação da qualidade física do solo denominada de intervalo hídrico ótimo (IHO). Nesse conceito utilizam para o cálculo da água disponível às culturas, além dos valores da capacidade de campo e do ponto de murchamento permanente, os valores limitantes da resistência do solo à penetração e da porosidade de aeração. Esses autores destacam que o IHO é um parâmetro que reflete uma faixa em que a condição de umidade do solo é ótima ao desenvolvimento das plantas, e o limite crítico depende da cultura, visto que, o sistema radicular das plantas possui distintas capacidades de vencer impedimentos mecânicos, bem como, de adaptação à deficiência de aeração.

Klein e Libardi (2000) determinaram a faixa de umidade do solo menos limitante ao crescimento das plantas, utilizando a metodologia do IHO descrita por Tormena et al. (1998), encontrando a densidade de $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$, para um Latossolo Vermelho, como densidade ótima para o máximo de água facilmente disponível, com o mínimo de restrições ao desenvolvimento das plantas.

Carter (1990), Hakansson (1990), Liepic et al. (1991), Hakansson e Liepic (2000), Ferreras et al. (2001) e Nhantumbo e Cambule (2006), apresentam como indicador da qualidade da estrutura do solo a DR, isto é a razão entre a DS no campo e

a densidade resultante da máxima compactação obtida em laboratório (DMS) pelo teste de Proctor ou outros métodos de compressão. Essa DMS é afetada pela textura e pelo teor de matéria orgânica do solo, daí a razão para que essa determinação seja feita para cada solo em estudo, pois a máxima densidade e a densidade ótima no campo ou aquela limitante, para o pleno desenvolvimento das plantas, será dependente desses fatores (MARCOLIN, 2006).

Carter (1990) trabalhando em solos arenosos (0,10 kg kg⁻¹ argila; 0,30 kg kg⁻¹ silte e 0,60 kg kg⁻¹ de areia) obteve máximo rendimento de cereais quando a densidade relativa se manteve entre 0,77 e 0,84. O autor destaca ainda, que em áreas sob plantio direto, um valor de DR de 0,89, já afeta o desenvolvimento das plantas principalmente por deficiência de aeração do solo, acarretada pela redução do volume de macroporos.

Hakansson (1990) em solos da Suécia encontrou máximo rendimento de cevada (*Hordeum vulgare* L.) quando a DR se encontrava próximo a 0,87. Apresentou ainda alguns ajustes desse valor em função da textura e teor de carbono do solo. Destaca, no entanto, que a influência da textura do solo sobre o valor da DR ótima parece ser pequeno.

Liepic et al. (1991) realizaram experimentos com cultura da cevada em dois solos: um com 0,20 kg kg⁻¹ e outro com 0,60 kg kg⁻¹ de argila. Concluem que para ambos os solos o crescimento das plantas e o rendimento de grãos é reduzido quando a DR excede valores de 0,91 e 0,88, respectivamente.

Ferreras et al. (2001) em solo siltoso da Argentina (0,20 kg kg⁻¹ argila; 0,70 kg kg⁻¹ silte e 0,10 kg kg⁻¹ de areia) encontraram para os sistemas plantio direto e escarificado valores de DR de 0,82 e 0,69 na camada superficial (0 –6 cm), enquanto na camada de 10-16 cm foram de 0,87 e 0,85, respectivamente. Nesse solo observaram que a cultura da soja apresentou menor rendimento de grãos no plantio direto (1700 kg ha⁻¹) do que no escarificado (3550 kg ha⁻¹). Destacam ainda o efeito da camada superficial adensada em plantio direto, onde observaram menor desenvolvimento do sistema radicular e menor quantidade de nódulos.

O objetivo desse trabalho foi determinar a DR

ótima e a limitante de um Latossolo Vermelho.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras foram coletadas em área localizada no Município de Guaira, na região norte do Estado de São Paulo (20°27' S, 48°18' W, 518 m). O solo é classificado como um Latossolo Vermelho (Typic Acrorthox), de textura argilosa, com predominância de caulinita, apresentando forte microagregação. Os teores de argila e de matéria orgânica média estão apresentados na Tabela 1.

(1998). Com essa finalidade, as amostras compostas de terra para as duas camadas (0,00 - 0,45m e 0,45 - 0,95 m) foram passadas em peneira com 4,8 mm de malha.

Os resultados de densidade do solo em função da umidade gravimétrica do solo foram ajustados minimizando a soma dos quadrados dos desvios, obtendo-se uma equação polinomial de 2° grau.

A determinação da DS ótima para o desenvolvimento das plantas, como condição para que não ocorra limitação de aeração do sistema radicular, tampouco da resistência mecânica à penetração das raízes e com máximo de água facilmente disponível

Tabela 1 – Teores de matéria orgânica (MO) e de argila para os distintos manejos e camadas de solo.

Camada (cm)	Mata		Sequeiro		Irrigado	
	MO (g dm ⁻³)	Arg. (g g ⁻¹)	MO (g dm ⁻³)	Arg. (g g ⁻¹)	MO (g dm ⁻³)	Arg. (g g ⁻¹)
0-45	30,99	0,697	29,76	0,594	27,80	0,535
45-90	17,22	0,749	15,78	0,666	14,67	0,631

Foram selecionados para o estudo três sistemas de uso e manejo do solo, situados em áreas adjacentes num mesmo plano da paisagem: 1) Mata - representado pela mata secundária; 2) Sequeiro - área desmatada em 1959 e desde então usualmente cultivada com duas culturas anuais, uma no período chuvoso, soja ou milho (novembro até fevereiro), e outra na de safrinha (março até julho), normalmente milho; 3) Irrigado - área desmatada em 1981 para instalação de sistema de irrigação por pivô central e cultivada com culturas anuais em sistema de manejo conservacionista, com plantio direto intercalado com aração profunda a cada 5 anos para implantação da cultura do tomate.

A DS foi determinada em amostras coletadas utilizando amostrador do tipo Uhland, com cilindros de alumínio de dimensões de 7,3 cm de diâmetro e 7,2 cm de altura (301 cm³), nas profundidades de 3,6; 10; 20; 30; 40; 50; 60; 70; 80; 90 e 100 cm, sempre considerando o centro do cilindro.

Para determinação da DMS, utilizou-se o teste de Proctor normal com 560 kPa, sem reuso de material, segundo metodologia descrita por Nogueira

às plantas, foi determinada utilizando a metodologia do IHO descrita por Klein e Libardi (2000), que é baseada na determinação da resistência mecânica do solo à penetração em amostras de solo com estrutura preservada submetidas a diferentes tensões.

Com esses dados ajustou-se o volume de água facilmente disponível, como sendo o intervalo entre o limite superior do IHO [capacidade de campo (CC) ou porosidade de aeração (PA)] e o limite inferior do IHO [resistência à penetração (RP) ou ponto de murcha permanente (PMP)] em função da DS, obtendo-se assim a DS ótima para o pleno desenvolvimento das plantas.

Determinou-se também, "extrapolando-se" as equações de ajuste dos parâmetros do IHO para dados de DS superiores aos encontrados no campo, permitindo determinar o valor de DS em que o IHO é igual a zero, valor de DS considerado como crítico ao crescimento das plantas.

Para determinar a densidade relativa utilizou-se a equação:

$$Densidade \text{ relativa} = \frac{Densidade \text{ do solo}}{Densidade \text{ máxima do solo (Teste de Proctor)}} \quad (1)$$

Os resultados foram submetidos à análise da variância e as médias ao Teste de Duncan, sendo depois ajustadas às equações polinomiais que foram analisados pelo teste F.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na camada de 0 - 45 cm de profundidade observaram-se diferenças de cerca de 2% nos valores de umidade ótima para compactação entre o solo de mata (0,30 kg kg⁻¹) e os outros dois manejos (0,28 kg kg⁻¹), enquanto a densidade máxima para mata (1,492 Mg m⁻³) e irrigado (1,499 Mg m⁻³) foi semelhante e inferior a do sequeiro (1,522 Mg m⁻³) (Tabela 2).

palmente dependentes da textura e da matéria orgânica do solo (MARCOLIN, 2006), fatores que nesse estudo não diferiram entre os distintos usos e manejos. Importante destacar que a energia usada no teste de Proctor deve ser a mesma quando se deseja a repetição dos valores absolutos. A energia aplicada pelo teste de Proctor normal é de 560 kPa.

Utilizando a metodologia do IHO, cujos limites são definidos considerando-se, além da capacidade de campo e o ponto de murchamento permanente, a resistência à penetração e a porosidade de aeração do solo. Os valores de IHO versus densidade do solo são apresentados, na Figura 1. Os resultados foram ajustados por uma equação polinomial de segundo grau.

Tabela 2 - Umidade ótima (UOt) para compactação, DMS e DR ótima para máximo IHO em diferentes profundidade para os diferentes manejos.

Manejo	Camada (cm)	UOt (kg kg ⁻¹)	DMS (Mg m ⁻³)	DR ótima máximo IHO	Equação	R ²
Mata	0 - 45	0,307	1,492	0,724	Ds = -91,617u ² + 56,375u - 7,179 **	0,96
	45 - 95	0,295	1,514	0,713	Ds = -47,632u ² + 28,097u - 2,630 **	0,89
Sequeiro	0 - 45	0,280	1,522	0,710	Ds = -70,759u ² + 39,636u - 4,028 **	0,86
	45 - 95	0,286	1,516	0,712	Ds = -69,249u ² + 39,614u - 4,148 **	0,85
Irrigado	0 - 45	0,284	1,499	0,720	Ds = -27,779u ² + 15,815u - 0,756 **	0,97
	45 - 95	0,293	1,515	0,713	Ds = -47,927u ² + 28,169u - 2,624 **	0,88

** Significativo a 1% de probabilidade

Valores semelhantes foram encontrados por Kertzman (1996) que estudou o mesmo solo e obteve resultados de densidade máxima, determinada pelo teste de Proctor normal, com uma boa repetibilidade, o que é importante quando se deseja uma propriedade do solo referencial, e que esses valores são princi-

Quando a 1ª derivada da equação for igual a zero é encontrado o ponto máximo do IHO, igual a 0,115 m³ m⁻³, correspondendo a uma densidade do solo de 1,08 Mg m⁻³. No mesmo solo, Tormena et al. (1998) encontraram valores de densidade do solo de 1,11 Mg m⁻³ para máximo IHO.

Portanto, a densidade do Latossolo Vermelho de $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$ é aquela em que ocorre a máxima disponibilidade de água às plantas, sendo que em densidades abaixo dessa o excesso de macroporos acarreta pouca retenção de água e em densidades mais elevadas, a possibilidade de deficiência de aeração e resistência limitante ao crescimento das raízes.

Mg m^{-3} para solos muito argilosos. Por outro lado, apresenta limites restritivos de DS de $1,45 \text{ Mg m}^{-3}$ para solos de textura argilosa, classificação na qual o Latossolo Vermelho se enquadra, correspondendo a uma DR de 0,96, muito acima de qualquer limite apresentado na literatura, indicando que efetivamente essa classificação necessita ser melhor elaborada.

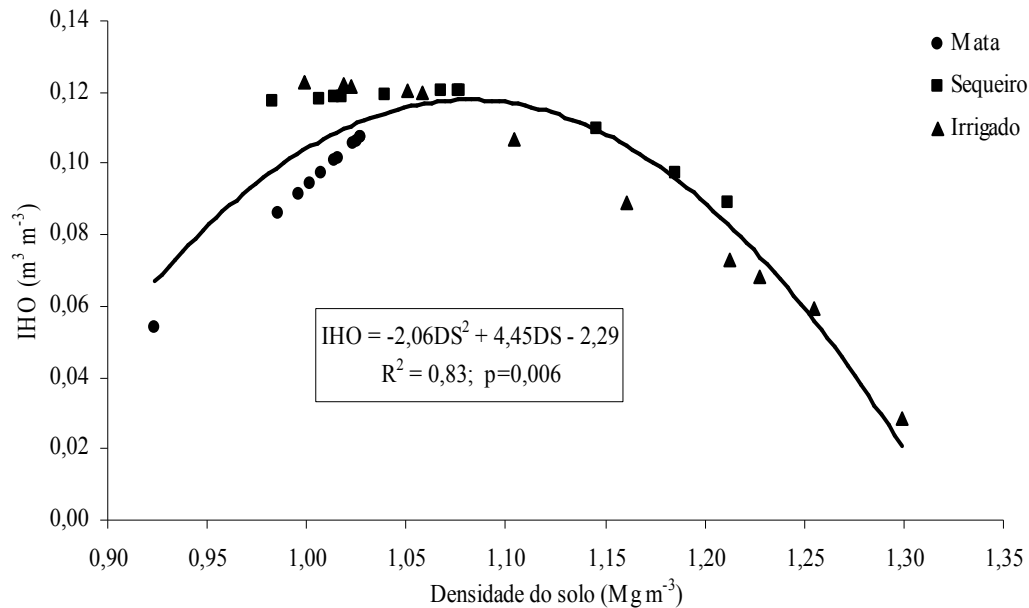


Figura 1 - Variação do intervalo hídrico ótimo (IHO) em função da densidade do solo nos três sistemas de manejo, (Fonte: KLEIN e LIBARDI, 2000).

A razão entre DS com maior IHO e a DMS resulta em DR ótima de 0,71. Esse valor é inferior aos encontrados por Carter (1990), Hakansson (1990), Liepic (1991) e Ferreras et al. (2001), que embora tenham trabalhado com solos de textura distinta do solo objeto desse trabalho, obtiveram valores de densidade relativa ótima média acima de 0,80. Embora não se tenha aferido esse valor com plantas, os solos tropicais, especificamente o Latossolo Vermelho, muito argiloso e de forte microagregação, apresentou um comportamento físico-hídrico diferenciado.

A DS no qual o $IHO = 0$ foi de $1,33 \text{ Mg m}^{-3}$ (Figura 2), e uma DR de 0,88, condição em que a probabilidade de risco ao desenvolvimento das plantas é alto. Esse valor de DS no qual o $IHO = 0$, é um pouco superior à classificação proposta por Reichert et al. (2003), que apresenta DS entre 1,25 e 1,30

A máxima DR do solo no campo na área irrigada foi de 0,867 (Tabela 3), e DR onde $IHO=0$ de 0,88, próximo daquele valor apresentado por Carter (1990) que destaca que em plantio direto parece haver um equilíbrio de DR próximo a 0,89, condição que no entanto já afetaria o desenvolvimento das plantas. Em condições naturais preservadas, ou seja, em solo de mata, observou-se que a DR ficou entre 0,66 e 0,69. Esses valores são semelhantes aos encontrados nas áreas cultivadas nas profundidades, abaixo de 40 cm, onde a estrutura do solo não foi afetada pelo manejo. Portanto, na condição natural preservada no Latossolo Vermelho a DR é de 0,67.

A variação da DR em profundidade deve-se exclusivamente a variação da densidade do solo, uma vez que a DMS (Tabela 2) não diferiu entre manejos e profundidades. Essa variação na densidade, é atribuída ao tráfego de máquinas sobre a superfície do

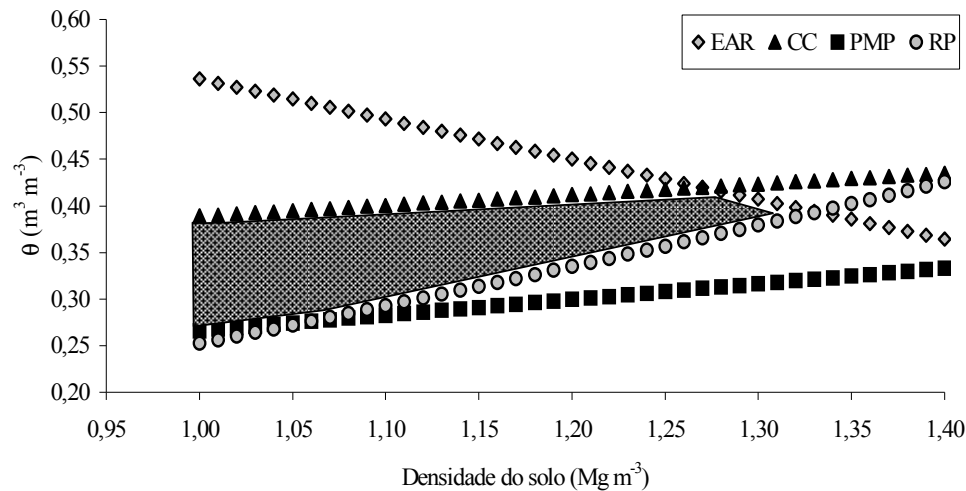


Figura 2 - Variação da umidade do solo para os três manejos em relação a densidade nos níveis críticos da porosidade de aeração(PAR), capacidade de campo(CC), ponto de murcha permanente (PMP) e resistência à penetração(RP), área hachureada IHO,(Fonte: KLEIN e LIBARDI, 2000).

Tabela 3 - Densidade relativa do solo em profundidade, nos três sistemas de manejo.

Prof (m)	Mata			Sequeiro			Irrigado		
				Densidade relativa					
0,03	B	0,619	b	AB	0,702	cd	A	0,809	bc
0,10	B	0,661	ab	A	0,796	a	A	0,867	a
0,20	C	0,687	a	B	0,707	ab	A	0,837	ab
0,30	C	0,680	a	B	0,779	b	A	0,819	abc
0,40	C	0,681	a	B	0,753	c	A	0,775	cd
0,50	A	0,688	a	A	0,708	c	A	0,736	de
0,60	A	0,686	a	A	0,683	cde	A	0,701	ef
0,70	B	0,662	a	B	0,669	de	A	0,698	ef
0,80	A	0,665	a	A	0,672	cde	A	0,675	ef
0,90	A	0,678	a	A	0,648	e	A	0,673	f
1,00	A	0,658	a	A	0,664	e	A	0,659	f
Média	C	0,669		B	0,704		A	0,749	
CV(%) tratamentos		3,9			2,9			4,0	
CV(%) geral		3,6							

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, não diferem significativamente entre si, ao nível de 5%, pelo teste de Duncan.

solo, com relação rodado-solo inadequadas e em condições impróprias de umidade, afetando a estrutura em profundidade (KLEIN e LIBARDI 2002).

É importante destacar que os efeitos das alterações na estrutura do solo, sobre as culturas, são difíceis de serem mensurados, pois mesmo com aumento da densidade as culturas mantêm rendimentos

aceitáveis, o que muitas vezes é obtido pelo efeito dos mecanismos sulcadores das semeadoras e pelas condições meteorológicas favoráveis vigentes.

CONCLUSÕES

A densidade máxima pelo teste Proctor Normal do Latossolo Vermelho é 1,51 Mg m⁻³, a limitante (IHO =0) 1,33 Mg m⁻³, a ótima (IHO máximo) 1,08 Mg m⁻³, a densidade relativa ótima 0,715 e a limitante maior que 0,88.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NHANTUMBO, A B.J.C.; CAMBULE, A.H. Bulk density by proctor test as a function of texture for agricultural soils in Maputo province of Mozambique. **Soil & Tillage Research**, v.87; p.231-239, 2006.
- BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C. Causas e efeitos da compactação do solo. **Lavoura Arrozeira**, v.33; p.59-62, 1980.
- BUENO, B.S.; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 131p.
- CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine loamy sands. **Canadian Journal Soil Science**, v.70; p.425-433, 1990.
- FERRERAS, L.A. et al. Parámetros físicos del suelo en condiciones no perturbadas y bajo laboreo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36; p.161-170, 2001.
- HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil & Tillage Research**, v.16; p.105-120, 1990.
- HAKANSSON, I.; LIPIEC, J. A review of the usefulness of relative bulk density values in studies of soil structure and compaction. **Soil & Tillage Research**, v.53 p. 71-85, 2000.
- KERTZMANN, F.F. **Modificações na estrutura e no comportamento de um latossolo roxo provocados pela compactação**. 1996. 153f. Tese (Doutorado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.
- KLEIN, V.A. ; BOLLER, W. Avaliação de diferentes métodos de manejos de solo e métodos de semeadura em área sob sistema plantio direto. **Ciência Rural**, v.25; p.395-398, 1995.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**. v.30; p.959-964, 2000.
- KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.26; p.857-867, 2002.
- LIEPIC, J. et al. Soil physical properties and growth of spring barley as related to the degree of compactness of two soils. **Soil & Tillage Research**, v.19; p.307-317, 1991.
- MARCOLIN, C.D. **Propriedades físicas de um Nitossolo e Latossolos Argilosos sob plantio direto**. 2006. 97f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) FAMV-UPF. Passo Fundo, 2006.
- NOGUEIRA, J.B. **Mecânica dos solos. Ensaio de Laboratório**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 248p.
- ORELLANA, J.A.; PILATTI, M.; GRENÓN, D.A. Soil quality: an approach to physical state assessment. **Journal of Sustainable Agricultural**. v.9; p.91-107, 1997.
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. ; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência & Ambiente**, 27, p.29-48, 2003.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. ; ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8; p. 265-268, 1984.
- TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22; p.573-581, 1998.
- VIEIRA, M.J. Comportamento físico do solo em plantio direto. In: FANCELLI, A.L.; TORRADO, P.V.; MACHADO, J. **Atualização em plantio direto**. Campinas, Fundação Cargill, 1985. p.163-179.
- WOORHEES, W.B.; LINDSTROM, M.J. Soil compaction on conservation tillage in the northern corn belt. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.38; p.307-311, 1983.