

# Resistência à penetração de um Latossolo Vermelho distroférico, com rotação e sucessão de culturas, sob plantio direto

Everton da Silva Neiro<sup>1</sup>, José de Deus Viana da Mata<sup>\*2</sup>, Cássio Antonio Tormena<sup>2</sup>, Antônio Carlos Andrade Gonçalves<sup>2</sup>, José Carlos Pintro<sup>2</sup> e Joaquim Mariano Costa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Agronomia da Unemat, MT. <sup>2</sup>Departamento de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. <sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Fazenda Experimental da Coamo. \*Autor para correspondência. e-mail [jdvmata@uem.br](mailto:jdvmata@uem.br)

**RESUMO.** A resistência do solo à penetração (RP) pode limitar o crescimento e a produtividade das plantas. Esta pesquisa foi conduzida na Fazenda Experimental da Coamo, em Campo Mourão, Estado do Paraná, Brasil, com o objetivo de avaliar a RP de um Latossolo Vermelho distroférico cultivado sob plantio direto por dez anos. Os tratamentos avaliados foram plantio direto conduzido com rotação de culturas (trigo/aveia/milho/soja) e plantio direto com sucessão de culturas (trigo/soja). Foi determinada a RP, realizando medidas a cada 0,05 m até a profundidade de 0,30 m. Simultaneamente, às medidas de RP, foram determinada a umidade do solo, utilizando um equipamento de TDR. Os resultados indicaram que para a camada de 0-0,10 m, o tratamento com sucessão de culturas apresentou menores valores de RP comparativamente à rotação de culturas. Valores de RP considerados como críticos ao crescimento das plantas (maiores que 2 MPa) foram constatados na profundidade de 0,15-0,20 m no tratamento com sucessão de culturas. Por outro lado, o tratamento com rotação de culturas apresentou menores valores de RP nessa camada. A menor RP no tratamento com rotação deve-se, provavelmente, ao efeito positivo do sistema radicular da cultura da aveia, que atuou realizando a escarificação biológica do solo, reduzindo a compactação do solo neste tratamento. Na camada de 0,20-0,30 m, a RP foi menor na rotação comparativamente à sucessão e com valores menores que o limite crítico de RP. De maneira geral, no tratamento com rotação de culturas os valores de RP mantiveram-se próximos e abaixo do valor de 2,0 MPa, indicando condições físicas do solo mais favoráveis para o crescimento das raízes das plantas em comparação com a sucessão de culturas.

**Palavras-chave:** plantio direto, compactação, impedância mecânica, aveia, manejo do solo.

**ABSTRACT.** Soil resistance penetration of a Haplortox under no-tillage, with rotation and succession crops. The soil resistance to root penetration (SPR) can limit growth and productivity of plants. This work was carried out in Experimental Farm of Coamo, in *Campo Mourão*, state of *Paraná*, Brazil, to evaluate SPR of a Haplortox cultivated under no-tillage in ten years with rotation (wheat/oat/mayze/soybean) and succession (wheat/soybean) crops. SPR was determined with a penetrometer, at each 0,05 m to a depth of 0,30 m, with soil water content near the field capacity (FC). For the depth from 0,0 to 0,10 m, the treatment with crops succession of cultures presented smaller values of SPR comparatively to rotation of cultures. This can be attributed to the fact that in the superficial layer, in function of the different spacings among-lines, these caused smaller dryer cycles and humidity with consequent smaller SPR for the succession of cultures in this depth. Values of SPR considered as critics to the growth of plants (larger than 2 MPa) were observed mainly in depth from 0,15 to 0,20 m, for treatment succession of cultures. This result can be due to presence of a foot-of-plow result from previous tilts of introduction in experimental area. The treatment with crop rotation presented smaller values of SPR in this depth, only reaching the critical limit for 0,15 m. such a result is due to the positive effect of the radical system of crops used in treatment with rotation, mainly oat, reducing soil compactness. In the depth from 0,20 to 0,30 m the treatment with

rotation of cultures presented the smallest values of RSP, quite distant from the critical limit of resistance again. SPR was also smaller in succession of cultures in this depth.

**Key words:** no-tillage, compaction, mechanical impedance, oat, soil management.

## Introdução

O uso de sistemas intensivos de preparo do solo resultaram na degradação física e química dos solos derivados de rochas basálticas originadas do derrame do Trapp, no Estado do Paraná. As conseqüências foram: a erosão do solo, a perda da fertilidade, a redução dos teores de matéria orgânica e a compactação dos solos. Para efetivamente controlar o avanço do processo erosivo, tem sido adotado o sistema de plantio direto com a manutenção dos resíduos culturais na superfície do solo (Derpsch *et al.*, 1986).

Independentemente do sistema de manejo, a sucessão de culturas provoca a degradação física, química e biológica dos solos, com a conseqüente redução da produtividade das culturas. Por outro lado, a rotação de culturas permite o desenvolvimento de uma agricultura estável e equilibrada em termos agronômicos e ambientais. Diversos estudos têm demonstrado os efeitos benéficos da rotação de culturas, tanto nas condições de solo (Almeida, 1981; Derpsch, 1985; Santos, 1991; Albuquerque, 1995; Santos e Siqueira, 1996; Campos *et al.*, 1995; Silva e Mielniczuk, 1997) quanto na produção das culturas subseqüentes (Ruedell, 1995). A rotação de culturas é uma das condições fundamentais para o sucesso do sistema de plantio direto (Viégas, 1990).

Apesar do conjunto de vantagens proporcionado pelo sistema de plantio direto (Mondardo e Bisciaia, 1981; Vieira, 1983; Holtz, 1985), existem alguns impedimentos observados no decorrer do tempo que podem limitar o potencial produtivo dos solos (Vieira, 1981; Roth e Vieira, 1983; Haugen-Koozyra *et al.*, 1992). Nos solos de textura argilosa e muito argilosa tem-se despertado para uma aparente degradação estrutural do solo. Nesse contexto, a maior compactação superficial do solo no plantio direto é provocada pelo efeito cumulativo do tráfego de máquinas e pela acomodação natural das partículas e/ou agregados (Hakansson e Medvedev, 1995; Kertsmann, 1996; Klein, 1998). No entanto, isso não inviabiliza o plantio direto, mas exige um melhor acompanhamento para que se tenha o diagnóstico e o dimensionamento da sua real importância (Torres e Saraiva, 1999).

A compactação do solo tem sido avaliada por meio de diversas variáveis físicas, tais como: densidade do solo, densidade relativa, resistência do solo à penetração das raízes (De Maria *et al.*, 1999) e

pressão de preconsolidação (Dias Junior, 1994; Kondo e Dias Junior, 1999), entre outros. A resistência à penetração caracteriza o impedimento que o solo oferece ao crescimento das raízes (Pedrotti *et al.*, 2001). Essa resistência geralmente aumenta com a compactação e com a redução da umidade do solo, podendo atingir valores limitantes para o crescimento e o desenvolvimento das raízes e das plantas (Bengough e Mullins, 1990; Passioura e Gardner, 1990; Rosolem *et al.*, 1999). Taylor *et al.* (1966) e Nesmith (1987) consideram que valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 MPa são restritivos ao crescimento e ao funcionamento do sistema radicular. Durante as operações agrícolas, como semeadura, tratos culturais e colheita, são aplicadas forças que alteram a resistência do solo à penetração.

A resistência do solo à penetração é comumente avaliada com o uso de penetrômetros. Apesar da conveniência da penetrometria para quantificar a resistência mecânica do solo, ela pode superestimar a resistência para o crescimento radicular (Pedrotti *et al.*, 2001). Bengough e Mullins (1990) e Dias Jr. e Pierce (1996) relatam que a resistência do solo à penetração pode ser empregada para avaliar o efeito de diferentes sistemas de manejo. A resistência real, exercida pelo solo à penetração radicular é, geralmente, menor que a resistência medida pelo penetrômetro, já que as raízes procuram os caminhos de menor resistência durante o seu crescimento. Esse aspecto está relacionado com a permanência da continuidade dos poros, resultante da decomposição das raízes, da liberação de exudatos radiculares, da atividade biológica do solo mais efetiva, proporcionando maior estabilidade dos agregados (Tisdall e Oades, 1982).

É importante salientar que a resistência varia diretamente com a densidade do solo e inversamente com o conteúdo de água do solo (Busscher *et al.*, 1997). Esse comportamento tem dificultado a interpretação das avaliações de resistência se esses fatores não forem levados em conta. Com a redução do teor de água no solo, ocorre aumento na resistência à penetração decorrente da maior coesão entre partículas, dificultando comparações entre sistemas de manejo (Beltrame *et al.*, 1981); sendo este aspecto minimizado quando se realizam medições na capacidade de campo do solo (Mata, 1988, Arshad *et al.*, 1996).

Nesse contexto, a hipótese deste trabalho é de que a rotação de culturas propicia uma condição física melhor que a sucessão de culturas, em Latossolo Vermelho distroférico, sob plantio direto. Logo, o objetivo deste trabalho foi de quantificar a resistência do solo à penetração em um solo sob plantio direto conduzido com sucessão e rotação de culturas.

### Material e métodos

O trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental da Coamo (Cooperativa Agropecuária Mourãoense Ltda.), no município de Campo Mourão, Estado do Paraná, nas coordenadas 23°17'09,5" de latitude sul e 51°55'17,4" de longitude a oeste de Greenwich, com altitude média de 620 m, de acordo com a carta climática do Estado do Paraná (Iapar, 1978). O clima do Município de Campo Mourão é do tipo Cfa: clima subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco freqüentes, com tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, sem estação seca definida. A média da temperatura dos meses mais quentes é superior a 22°C e a dos meses mais frios é inferior a 18°C. A temperatura média anual está entre 20°C e 21°C.

O solo da área do estudo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico com horizonte A moderado, textura muito argilosa (Embrapa, 1999). Para a caracterização química e granulométrica do solo baseou-se nos procedimentos descritos cujos resultados estão apresentados nas tabelas 1 e 2.

A área experimental foi implantada em maio de 1991 com objetivo de comparar os sistemas de manejo de solos normalmente utilizados pelos agricultores. No período anterior a sua implantação, até o verão de 1990/91, o manejo adotado era o sistema de preparo convencional do solo (aração e gradagens niveladoras e destorroadoras na profundidade de 0,20 m, desde 1970), realizando o plantio da cultura da soja no verão e da cultura do

trigo no inverno. A partir da introdução do experimento, dois sistemas de manejo do solo foram utilizados: plantio direto com rotação de culturas e plantio direto com sucessão de culturas. As culturas utilizadas em cada sistema e a época de semeadura são apresentadas na Tabela 3.

As amostragens e determinações foram realizadas no mês de novembro do ano de 2000 sob resteva de aveia para a parcela rotação e resteva de trigo para a parcela sucessão. A cultura da aveia foi manejada com rolo-faca. O trabalho foi realizado nos dias 08/11 (para o tratamento rotação) e 09/11 (para o tratamento sucessão), nos quais foram feitas as determinações de resistência do solo à penetração, utilizando um penetrômetro, cuja metodologia está descrita em Tormena e Roloff (1996). Simultaneamente foram realizadas medidas da umidade do solo com o equipamento TDR (Time Domain Reflectometry), conforme Trintinalha (2000).

As amostragens foram feitas em duas parcelas representativas de cada tratamento. No interior das parcelas foi dimensionada uma malha retangular (30 x 5m) constituindo um gride de amostragem de 96 pontos. Para a quantificação da resistência do solo à penetração (RP), o perfil do solo foi amostrado até 0,30 m de profundidade, em intervalos de 0,05 m, nos 96 pontos de cada tratamento, com três repetições por ponto. Seguindo as recomendações de Mata (1988) e Arshad *et al.* (1996), as determinações de penetrometria foram realizadas com a umidade do solo próxima à capacidade de campo (CC), após a ocorrência de uma precipitação de cerca de 50 mm, dois dias antes do início dos trabalhos.

Os resultados de resistência do solo à penetração foram analisados por procedimentos de análise estatística descritiva: média, mediana, variância, desvio padrão, coeficiente de variação e erro padrão da média. A comparação entre os tratamentos foi feita utilizando o teste t para amostras independentes utilizando o *software* estatístico.

**Tabela 1.** Resultados da análise química e da atração magnética do Latossolo Vermelho distroférico, até a profundidade de 1,20 m

Profundidade (m)	pH		Al <sup>3+</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	P	C	V%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <sup>*DCB</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O									
0,00 - 0,20	4,7	5,4	0,10	5,74	3,70	2,62	0,32	7,00	20,33	41,19	18,20
0,20 - 0,40	4,3	4,7	0,20	4,53	1,83	1,38	0,10	1,00	13,55	22,52	-
0,40 - 0,60	4,5	5,3	0,20	4,96	1,81	1,32	0,08	2,00	13,55	27,59	-
0,60 - 0,80	4,9	5,5	0,10	4,28	1,63	1,13	0,06	1,00	10,16	28,31	-
0,80 - 1,00	4,7	5,3	0,10	4,61	1,46	0,90	0,04	1,00	9,12	24,55	-
1,00 - 1,20	4,6	5,1	0,20	4,28	0,91	0,55	0,04	1,00	7,60	18,16	19,00

\*DCB Determinado conforme Jackson (1965)

**Tabela 2.** Resultados médios da análise granulométrica do Latossolo Vermelho distroférrico, até a profundidade de 1,20 m

Profundidade (m)	Arcia Grossa	Arcia Fina	Silte	Argila
	g kg <sup>-1</sup>			
0,00 – 0,20	30	70	240	660
0,20 – 0,40	40	60	190	710
0,40 – 0,60	40	70	160	730
0,60 – 0,80	40	60	170	730
0,80 – 1,00	40	60	140	760
1,00 – 1,20	40	60	130	770

**Tabela 3.** Rotação e sucessão de culturas utilizadas na área experimental no período de 1991 a 2000

	1991		1992		1993		1994		1995	
	Inv	Ver								
Rotação	A	M	A	S	T	S	T	S	A	M
Suces-são	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S
	1996		1997		1998		1999		2000	
	Inv	Ver								
Rotação	A	S	T	S	T	S	A	M	A	S
Suces-são	T	S	T	S	T	S	T	S	T	S

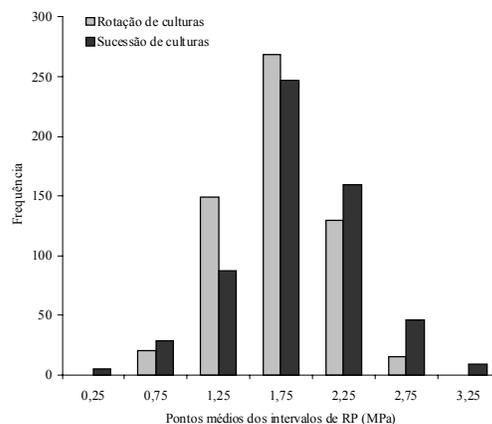
A – aveia; T – trigo; S – soja; M – milho; Inv – inverno e Ver – verão

## Resultados e discussão

Os momentos estatísticos para os valores de resistência do solo à penetração nos tratamentos com rotação e sucessão de culturas são apresentados na Tabela 4. Em todo o perfil amostrado, constatou-se que o tratamento com sucessão de culturas apresentou maiores valores médios de RP bem como da mediana. O maior coeficiente de variação dos valores de RP ocorreu na camada de 0-0,05 m, em função da maior heterogeneidade estrutural do solo associada aos efeitos do sistema radicular das culturas, do tráfego de máquinas, da ação dos equipamentos de semeadura e dos ciclos de secagem e umedecimento mais intensos nesta camada. A umidade média do solo na capacidade de campo, considerando a tensão de -100 hPa, foi de 47% e 44%, respectivamente, nos tratamentos com rotação e sucessão de culturas. Os valores de umidade do solo no momento da determinação da resistência à penetração foram levemente inferiores aos valores da umidade na capacidade de campo, ratificando as recomendações de Mata (1988) e Arshad *et al.* (1996), da necessidade de se realizar as determinações da RP em condições

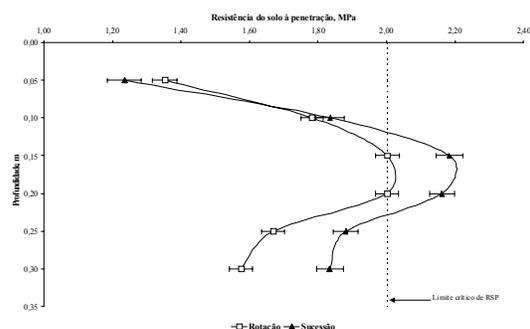
de umidade próximo da capacidade de campo. Os resultados também indicaram que a rotação de culturas propiciou uma maior umidade do solo comparativamente com o tratamento sob sucessão de culturas. Essa diferença pode ser devida, principalmente, ao emprego da cultura da aveia, que pode ter proporcionado melhor condição estrutural ao solo, a qual refletiu-se em maior capacidade de retenção de água pelo solo nesse tratamento.

A distribuição dos valores de RP, no perfil amostrado, em intervalo de valores com amplitude de 0,5 MPa é apresentada na Figura 1. Consta-se que até 1 MPa, o tratamento com sucessão de culturas apresentou maior frequência de valores de RP; de 1,0-2,0 MPa a rotação passou a apresentar maior frequência de valores de RP. Para valores de RP > 2,0 MPa, sistematicamente, o tratamento com sucessão de culturas apresentou maior frequência de ocorrência de valores de RP, considerados severamente restritivos ao crescimento das raízes e das plantas. É necessário salientar que esses valores de RP foram medidos em condições de umidade próximas da capacidade de campo. Sob secamento do solo, é possível que as condições físicas do solo no tratamento com sucessão de culturas apresentem-se mais restritivas comparativamente com o tratamento sob rotação de culturas.

**Figura 1.** Distribuição dos valores de resistência do solo à penetração em amplitude de 0,5 MPa nos tratamentos com rotação e com sucessão de culturas**Tabela 4.** Momentos estatísticos para os valores de umidade do solo (%) e resistência do solo a penetração (MPa) no perfil amostrado

	Média		Mediana		Variância		Desvio Padrão		Coeficiente Variação		Erro Padrão	
	Rotação	Sucesão	Rotação	Sucesão	Rotação	Sucesão	Rotação	Sucesão	Rotação	Sucesão	Rotação	Sucesão
Umidade	40,99	39,55	41,01	39,68	2,17	3,50	1,47	1,87	0,04	0,05	0,16	0,20
RSP: 0,0 – 0,05m	1,35	1,20	1,36	1,13	0,13	0,19	0,35	0,43	0,26	0,36	0,04	0,05
RSP: 0,05 – 0,10m	1,78	1,80	1,78	1,79	0,08	0,10	0,29	0,32	0,16	0,18	0,03	0,03
RSP: 0,10 – 0,15m	2,00	2,14	1,95	2,12	0,11	0,12	0,34	0,34	0,17	0,16	0,04	0,04
RSP: 0,15 – 0,20m	1,98	2,14	1,97	2,16	0,09	0,12	0,31	0,35	0,16	0,16	0,03	0,04
RSP: 0,20 – 0,25m	1,66	1,84	1,69	1,80	0,10	0,10	0,32	0,32	0,19	0,17	0,03	0,03
RSP: 0,25 – 0,30m	1,57	1,80	1,54	1,77	0,11	0,12	0,33	0,34	0,21	0,19	0,03	0,04

A distribuição dos valores médios de RP nas diferentes camadas avaliadas é apresentada na Figura 2. Verifica-se que nas camadas superficiais até 0,10 m, os valores de RP apresentaram-se menores para o tratamento sucessão comparativamente ao tratamento rotação de culturas, o que também pode ser constatado na Figura 1. Esses resultados podem ser consequência da repetição de culturas com menor espaçamento das entrelinhas na sucessão em relação à rotação que emprega a cultura do milho, estabelecendo-se uma mais intensa movimentação do solo pelos equipamentos de semeadura e pelo crescimento prolífico do sistema radicular da cultura do trigo nesta camada. Por outro lado, no sistema de rotação, a agregação mais efetiva do solo pode resultar em uma estrutura com maior estabilidade estrutural, sem que os níveis de RP atinjam valores limitantes.



**Figura 2.** Resistência do solo à penetração (MPa) nos tratamentos com rotação e sucessão de culturas em sistema de plantio direto. Barras horizontais não sobrepostas do erro padrão da média, indicam diferença significativa entre os tratamentos ( $p < 0,05$ )

Os valores mais elevados de resistência do solo à penetração ocorreram na profundidade de 0,10-0,15 m e 0,15-0,20 m (Figura 2). Considerando que o valor de  $RP = 2,0$  MPa foi estabelecido como crítico para a maioria das espécies vegetais cultivadas por Taylor *et al.*, 1966) e o mesmo tem sido comumente aceito como limitante ao crescimento das raízes (Tormena *et al.*, 1988), pode-se constatar que no tratamento sucessão, os valores de RP foram cerca de 10% superiores a este limite, com a umidade do solo na capacidade de campo. O comportamento da RP tanto em rotação quanto em sucessão, com maiores valores na camada de 0,10-0,20 m, ainda refletem o efeito pretérito dos sistemas de preparo de solo anteriores à implantação do sistema de plantio direto. O aumento acentuado dos valores de resistência nessa profundidade pode ser atribuído ao uso de arado, realizando a operação de preparo na camada de 0,20 m de profundidade e ao uso de grade pesada, principalmente em condições inadequadas de umidade do solo. Esses resultados estão em

acordo com Lowery e Shuler (1991) que identificaram a persistência da compactação subsuperficial do solo por cinco anos ou mais, dependendo do conteúdo de argila.

A partir dos 0,20 m a resistência do solo à penetração reduziu para valores menores que 2,0 MPa nos dois tratamentos e foi significativamente menor no tratamento com rotação comparativamente ao tratamento com sucessão. É provável que a maior umidade do solo tenha contribuído, em parte, para a redução dos valores de RP tanto em rotação como em sucessão, além de que os efeitos do tráfego de máquinas se concentram na camada superficial do solo conforme Tormena e Roloff (1996).

Os diferentes sistemas de manejo influenciaram a RP de forma mais evidente, na camada de 0,10-0,20 m. Isso ratifica a hipótese da melhor eficiência dos sistemas radiculares de aveia (principalmente) e do milho em condicionar biologicamente a estrutura do solo e por sua vez a RP. Esse efeito positivo da rotação de culturas, em diminuir a resistência do solo, também foi verificado por Henklain *et al.* (1996) em solos também argilosos do norte do Paraná e por Tormena e Roloff (1996), na região sul do Paraná, ao trabalharem com aveia após soja. Constatou-se que no tratamento de rotação, os valores de RP mantiveram-se próximos do valor de 2,0 MPa, indicando condições mais favoráveis para o crescimento das raízes das plantas em comparação com a sucessão de culturas.

Nesse contexto, os resultados sugerem que, sob rotação, ocorre uma escarificação biológica do solo, resultando em uma maior porosidade, com um menor número de pontos de contato entre agregados, facilitando o deslocamento e rearranjo destes por ocasião da medida da resistência ou do crescimento das raízes. Por outro lado, sob sucessão, provavelmente devido a maior coesão entre as partículas sólidas, sugere-se que reduções de umidade levaram, invariavelmente, a ganhos de resistência do solo que, dependendo da magnitude do secamento, poderão tornar-se excessivamente altos. Neste sentido, a efetiva cobertura do solo é fundamental no PD para que haja uma menor taxa de perda de água do solo, como atestam Bragagnolo e Mielniczuck (1990), de modo que os valores de RP sejam mantidos em níveis não restritivos ao crescimento das plantas. Esses resultados corroboram com a afirmativa de Derpsch *et al.* (1986) de que a compactação do solo é mais superficial, concentrada na camada de 0-0,20 m.

O plantio direto com rotação de culturas apresentou menores valores médios de resistência do

solo à penetração que não superaram o limite crítico (2,0 MPa), estabelecido como restritivo ao crescimento e desenvolvimento do sistema radicular, com a umidade do solo na capacidade de campo, em comparação com a sucessão de culturas. A rotação de culturas executou a escarificação biológica do solo, comprovada pela menor magnitude da RP, reduzindo a necessidade de controle mecânico da compactação do solo.

## Referências

- ALBUQUERQUE, J.A. *et al.* Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeitos sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.19, n. 2, p.115-119, 1995.
- ALMEIDA, F.S. *Plantio direto no Estado do Paraná*. Londrina: Iapar, 1981.
- ARSHAD, M.A. *et al.* Physical tests for monitoring soil quality. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.49, p. 123-141, 1996
- BELTRAME, L.F.C. *et al.*, Estrutura e compactação na permeabilidade de solos do Rio Grande do Sul. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 5, p. 145-149, 1981.
- BENGHOUGH, A.G. *et al.* Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.41, p.341- 358, 1990.
- BUSSCHER, W.J. *et al.* Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v.43, p.205-217, 1997.
- CAMPOS, B.C. *et al.* Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.19, p.121-126, 1995.
- CASSEL, D.K. Tillage effects on soil bulk density and mechanical impedance. In: Unger. *et al.* (Ed). Predicting tillage effects on soil physical properties and processes. Madison: American Society of Agronomy, cap. 4, p.45-67, 1982.
- DE MARIA, I.C. *et al.* Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.23, p.703-709, 1999.
- DERPSCH, R *et al.* Manejo do solo com coberturas verdes de inverno. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.20, p.761-773, 1985.
- DIAS JUNIOR, M.DE S.; PIERCE, F.J. O processo de compactação do solo e sua modelagem. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.175-182, 1996.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de solos. Embrapa, 1999. 412p.
- HAKANSSON, I.; MEDVEDEV, V.W. Protection of soils from mechanical overloading by establishing limits for stresses caused by heavy vehicles. *Soil Tillage Res.*, Amsterdam, v.35, p.85-97, 1995.
- HAUGEN-KOOZYRA, K *et al.* Nitrogen partitioning and cycling in barley-soil systems under conventional and zero tillage in central Alberta. *Can. J. Soil Sci.*, Ottawa, v.73, p.183-196, 1992.
- HOLTZ, G.P. *Dinâmica da decomposição da palhada e da distribuição do carbono, nitrogênio e fósforo numa rotação de culturas sob plantio direto na região de Carambei-PR, 1985*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1985.
- Iapar - Instituto Agronômico do Paraná. *Cartas climáticas básicas do Estado do Paraná*, Londrina, 1978.
- KERTZMANN, F.F. *Modificações na estrutura e no comportamento de um Latossolo Roxo provocados pela compactação 1996*. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1996.
- KLEIN, V.A. *Propriedades físico-hídrico-mecânicas de um Latossolo Roxo, sob diferentes sistemas de uso e manejo 1998*. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- MATA, J.D.V. *Relações entre as características físicas e os níveis de compactação de alguns Latossolos Paranaenses 1988*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1988.
- MONDARDO, A.; BISCAIA, R.M. Controle da erosão, In: *Plantio Direto no Estado do Paraná*. Londrina: Iapar, Circular n.23, p.33-42, 1981.
- MUNSELL. *Soil color charts*. Revised washable edition. Litle Britain Road, New Windsor, 2000.
- NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soybean on Ultissol. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, Madison, v.51, p.183-186, 1987.
- PASSIOURA, J.B.; GARDNER, P.A. Control of leaf expansion in wheat seedlings growing in drying soil. *Australian J. Plant Physiology*. v.17, p.149-157, 1990.
- PEDROTTI, A. *et al.* Resistência mecânica do solo à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 25, p. 521-529, 2001.
- ROSOLEM, C.A. *et al.* Crescimento radicular de plântulas de milho afetado pela resistência do solo à penetração. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.
- ROTH, C.; VIEIRA, M.J. Infiltração de água no solo, *Plantio direto*. Ponta grossa, Embrapa-CNPSo / CCLPL, v.3, p.4, 1983.
- RUEDELL, J. *Plantio direto na região de Cruz Alta*. Fundacep- Fecotrigo, Cruz Alta: 1995.
- SANTOS, H.P. Soja em sucessão a aveia branca, aveia preta, avevem e trigo: características agrônomicas. *Pesq. Agropecu. Bras.*, Brasília, v.26, n.9, p.1563-1576, 1991.
- SANTOS, H.P. SIQUEIRA, O.J.W. Plantio direto e rotação de culturas para cevada: efeitos sobre a fertilidade do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.20, p.163-169, 1996.
- SILVA, DA, I.F.; MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de

- agregados do solo. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.21, p.113-117, 1997.
- TAYLOR, H.M. *et al.* soil strength-root penetration relations to medium to coarse-textured soil materials. *Soil Sci.*, Baltimore, v. 102, p. 18-22, 1966.
- TISDALL, J.M.; OADES, J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, Oxford, v.33, p.141-163, 1982.
- TORMENA, C.A.; ROLLOF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v. 20, p. 333-339, 1996.
- TORMENA, C.A. *et al.* Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.
- TORRES, E.; SARAIVA, O.F. *Camadas de impedimento do solo em sistemas agrícolas com soja*. Londrina: Embrapa - soja, 1999.
- TRINTINALHA, M.A. *Calibração de um equipamento TDR para determinação da umidade em Nitossolo Vermelho eutroférrico* 2000. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá-PR, 2000.
- VIEIRA, M.J. Propriedades físicas do solo. *In: Plantio Direto no Estado do Paraná*, Londrina, Iapar, circular n. 23. p.19-32, 1981.
- VIEIRA, M.J. Cobertura morta, sua influência nas características do solo. *In: ENCONTRO NACIONAL DE PLANTIO DIRETO, II.*, 1983. Ponta Grossa-PR. Anais, Ponta Grossa-PR, Coopersul. 1983, p.06-11.

*Received on August 06, 2002.*

*Accepted on October 06, 2002.*