

EFEITOS DA INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA NAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E CARACTERÍSTICAS DA CULTURA DO MILHO⁽¹⁾

J. A. ALBUQUERQUE⁽²⁾, L. SANGOI^(2,3) & M. ENDER⁽²⁾

RESUMO

A integração lavoura-pecuária pode compactar a camada superficial do solo e restringir o crescimento de raízes e a produtividade das culturas nos solos argilosos. Este estudo objetivou mensurar as modificações nas propriedades físicas do solo e as características da cultura do milho, em área submetida ao sistema de preparo convencional e plantio direto, com pisoteio animal durante o inverno, comparando com as propriedades físicas do sistema mata nativa. O experimento foi realizado em Lages (SC), em um Nitossolo Vermelho, nos sistemas de preparo convencional e plantio direto com milho no verão e aveia no inverno para o pastejo. Foram determinadas: a macro, a micro, a porosidade total, a densidade do solo, a condutividade hidráulica saturada, a resistência do solo à penetração e as características da cultura do milho. Observou-se que a pressão exercida pelo trânsito de máquinas agrícolas e pelo pisoteio animal degradou a estrutura do solo em comparação ao sistema mata. Houve redução dos macroporos de 0,29 na mata para 0,17 no preparo convencional e 0,13 m³ m⁻³ no plantio direto, refletindo na redução da porosidade total e no aumento da densidade do solo de 0,79 na mata para 1,09 no preparo convencional e 1,16 kg dm⁻³ no plantio direto. A menor macroporosidade foi responsável pela redução da condutividade hidráulica saturada nos sistemas de preparo convencional e plantio direto comparados à da mata nativa. No sistema plantio direto, houve aumento da resistência do solo à penetração, principalmente na camada de 0-0,15 m. Os maiores danos às propriedades físicas do solo foram observados no sistema plantio direto quando comparados aos dos sistemas de preparo convencional. No plantio direto, a estatura de plantas, o número de folhas verdes, o peso de 1.000 grãos, o número de grãos por espiga e a produtividade foram inferiores aos do preparo convencional. Tais observações reforçam a tese de que, no sistema plantio direto, devem-se evitar o uso de máquinas pesadas e o pastejo nas áreas comuns de lavoura-pecuária, principalmente quando a umidade do solo estiver acima do ponto de friabilidade.

Termos de indexação: compactação do solo, pisoteio animal, plantio direto, preparo convencional.

⁽¹⁾ Recebido para publicação em junho de 2000 e aprovado em abril de 2001.

⁽²⁾ Professor da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Caixa Postal 281, CEP 88520-000 Lages (SC). E-mail: a2ja@cav.udesc.br

⁽³⁾ Pesquisador do CNPq.

SUMMARY: MODIFICATIONS IN THE SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND MAIZE PARAMETERS INDUCED BY CROPPING AND GRAZING UNDER TWO TILLAGE SYSTEMS

The integration between agriculture and cattle-raising in some areas can restrict the use of no-tillage system in clayey soils, due to soil surface compaction, which restricts root growth and limits crop yield. The objective of this study was to evaluate the changes in soil physical properties and maize parameters caused by animal trampling preceding the summer crop, under two tillage systems. The degree of degradation of the cultivated soil compared to the native forest was also evaluated. The experiment was carried out in Lages, Southern Brazil, in an Ultisol, using conventional tillage and no-tillage with corn in the summer and oat in the winter for grazing. Macropores, micropores, total porosity, bulk density, saturated soil hydraulic conductivity, resistance to penetration and corn parameters were determined. The pressure applied by animal trampling and soil management systems degraded the soil structure in comparison to the native forest. This was observed by the reduction of the macropores, total porosity and saturated soil hydraulic conductivity and through an increase of the bulk density. Under the no-tillage system, there was an increase of the resistance to penetration, mainly in the layer of 0 to 0,15 m. These alterations in soil structure reduced maize plant height, number of green leaves, weight and number of grains per ear under no-tillage compared to conventional tillage. Such observations show the evidence that growers should avoid the use of heavy machines and animal trampling under no-tillage, particularly in clayey soils and when soil moisture is above the friability point.

Index terms: soil compaction, animal trampling, no-till, conventional tillage.

INTRODUÇÃO

O preparo convencional tem causado degradação das propriedades do solo, principalmente de sua estrutura (Argenton, 2000), favorecendo a erosão hídrica e o assoreamento de rios e lagos. Esta constatação motivou agricultores e técnicos a buscarem novas alternativas, como a utilização do sistema plantio direto, o qual reduz as perdas de solo e, conseqüentemente, de nutrientes, demanda menor consumo de combustível e, para algumas culturas, proporciona aumento de produtividade.

Uma das principais causas da degradação em áreas cultivadas é a compactação do solo causada pelo intenso tráfego de máquinas e implementos agrícolas e pelo pisoteio animal em áreas de integração lavoura-pecuária. A compactação do solo reduz a aeração e a infiltração de água e aumenta a resistência do solo à penetração das raízes (Wagger & Denton, 1989; Trein et al., 1991; Boeni et al., 1997). Esses processos têm relação com a disponibilidade de oxigênio, água e nutrientes, pois a mobilidade destes depende dos fluxos ocorridos no espaço poroso (Hillel, 1980). A restrição ao crescimento das raízes reduz também a interceptação radicular, processo dependente da distribuição e densidade das raízes (Mengel & Barber, 1974). A compactação pode reduzir a produtividade das culturas, sendo a cultura do milho sensível a este processo.

A densidade do solo e a resistência à penetração têm sido utilizadas para indicar restrições às plantas. Taylor & Gardner (1963) concluíram que a resistência do solo à penetração limitou mais o crescimento de raízes do que a densidade do solo, porém houve estreita relação da umidade e da densidade do solo com a resistência do solo à penetração. Segundo Longsdon et al. (1987) e Pagès & Pellerin (1994), a densidade do solo elevada modificou a distribuição das raízes e reduziu o comprimento das raízes laterais de milho.

Em dois Molissolos (fine-loamy) do estado de Minasota, Voorhees et al. (1989) observaram que a compactação nos tratamentos com cargas por eixo de 9 e 18 Mg, típicos de equipamentos de transporte e colheita de grãos, reduziu a emergência, a produção de matéria seca por planta e a produtividade do milho. Barber (1971), Tardieu (1988) e Unger & Kaspar (1994) salientaram que a compactação do solo reduz o crescimento das plantas quando há redução no suprimento de água e nutrientes, fato observado quando as raízes desenvolvem-se acima da camada compactada e, principalmente, quando as condições climáticas são desfavoráveis.

Segundo Letey (1985), as práticas de manejo do solo devem proporcionar boas condições físicas do solo. Um dos fatores que modificam o grau de compactação do solo é o sistema de preparo. De Maria et al. (1999) constataram, em Latossolo Roxo

em São Paulo, que o tratamento com grade pesada concentrou 50% das raízes da soja na camada superficial, comparado com 40% no plantio direto e 30% no sistema com escarificação.

A textura do solo influencia o processo de compactação, pois modifica várias propriedades do solo como a relação do tamanho dos poros, retenção de água, densidade do solo e resistência crítica do solo à penetração. Ball-Coelho et al. (1998) salientaram que o aumento na densidade do solo de textura arenosa aumentou a retenção de água e não reduziu a produtividade do milho. Em um Podzólico Vermelho-Amarelo franco-arenoso, Silva et al. (2000) não observaram redução da produtividade do milho após a compactação pelo pisoteio animal, nos sistemas de preparo convencional e plantio direto, apesar de haver concentração das raízes na camada superficial do solo no plantio direto. Gerard et al. (1982) afirmaram que a resistência do solo à penetração, considerada crítica ao crescimento das raízes, diminui com o aumento no teor de argila do solo. Portanto, em solos mais argilosos, o aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração pode ser mais restritivo às raízes do que em solos arenosos.

Objetivou-se comparar as modificações nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho e características da cultura do milho, promovidas por dois sistemas de manejo do solo, preparo convencional e plantio direto, ambos submetidos ao pisoteio animal durante o inverno. Avaliou-se, também, o grau de degradação que os sistemas causaram ao solo comparado com a mata nativa.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em campo, em uma propriedade rural próxima à barragem do Salto do Rio Caveiras, no município de Lages (SC), no período de 1998/99. A área apresenta relevo suave ondulado a ondulado e o solo pertencente à Classe dos Nitossolos Vermelhos (EMBRAPA, 1999) (Quadro 1).

Quadro 1. Propriedades do Nitossolo Vermelho (0-0,2 m). Amostras coletadas em 1997

Propriedade	Valor
Argila (g kg ⁻¹)	550
MO (g kg ⁻¹)	45
pH H ₂ O	6,6
P (mg L ⁻¹)	3,1
K (mg L ⁻¹)	70
Ca + Mg (cmol _c L ⁻¹)	12,5
Al (cmol _c L ⁻¹)	0

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com três repetições. Foram testados dois sistemas de manejo: preparo convencional (uma aração e duas gradagens), com incorporação completa da cobertura de inverno; e plantio direto, com os restos culturais deixados na superfície do solo. Com o objetivo de avaliar as modificações que os dois sistemas de manejo causaram ao solo ao longo dos anos, foram selecionadas, em uma mata nativa situada próxima ao experimento, três áreas para coleta de amostras.

A área experimental foi utilizada com lavouras desde 1987, com preparo convencional para o cultivo de verão e pousio no inverno. A partir de 1992, iniciou-se o sistema plantio direto com a integração lavoura-pecuária. Neste sistema, a aveia era semeada em meados de abril a final de maio, para ser utilizada como forragem em pastoreio direto no inverno. Logo após a semeadura, passava-se uma grade de discos, para incorporar as sementes. Os animais permaneciam na área com aveia, por um período de 90 a 100 dias, entre julho e setembro. Após o pastejo, de meados de setembro a meados de outubro, a aveia remanescente era dessecada para a instalação da cultura de verão, nos sistemas de preparo convencional e plantio direto (Sangoi et al., 1999). As culturas de verão eram milho em rotação com soja ou feijão.

Em maio de 1998, foi semeada a aveia preta (*Avena strigosa* Scheib) nos dois sistemas de preparo do solo, utilizando 80 kg ha⁻¹ de sementes. A dessecação da aveia foi realizada no final de setembro, com o herbicida glyphosate. No preparo convencional, quinze dias após a dessecação, os resíduos da aveia foram incorporados com aração e gradagem.

O milho híbrido utilizado foi o Cargill 909, semeado em covas, num espaçamento entre linhas de 0,80 m e densidade de 75.000 plantas por hectare. Na semeadura, foram aplicados 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 100 de K₂O, correspondendo aos valores de reposição sugeridos pela CFS RS/SC (1995) para produtividade superior a 6.000 kg ha⁻¹.

As coletas de amostras indeformadas, em anel volumétrico com altura e diâmetro de 0,05 m, foram realizadas no estádio de grão leitoso do milho, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,10, 0,10-0,15 e 0,15-0,20 m, no ano agrícola 98/99. Em cada profundidade, foram coletadas duas amostras. Nestas amostras, foram mensuradas: a umidade do solo; a macroporosidade; a microporosidade; a porosidade total; e a densidade do solo, todos segundo o método descrito em EMBRAPA (1997). Para determinar a condutividade hidráulica saturada (K₀) segundo Klute & Dirksen (1986), foi utilizada uma coluna de água de altura constante de 0,25 m, pois, com pressões menores em alguns anéis, não se observou percolação da água. Após o fluxo da água estabilizar, foi determinado o volume de água percolado num período de cinco minutos. Em cada anel, foram efetuados três testes de percolação.

Na colheita do milho, foi medida a resistência do solo à penetração, segundo Bradford (1986), utilizando um penetrômetro de bolso da marca Soiltest, com escala de 0 a 5 kg cm⁻². As medidas foram realizadas em triplicata, com incrementos de 0,05 m até à profundidade de 0,40 m. Da superfície até 0,20 m, em todos os blocos, e de 0,20 a 0,40 m, apenas em um bloco por tratamento. Na época da medição, a umidade do solo nos três sistemas variou de 0,31 a 0,37 kg kg⁻¹.

Quando o milho alcançou o florescimento pleno (antese), foram escolhidas, ao acaso, cinco plantas, para determinar o número de folhas verdes de cada planta. No estágio de grão leitoso, determinou-se a estatura de plantas, medindo-se a distância entre o nível do solo e a extremidade do pendão de cinco plantas escolhidas ao acaso. Após a colheita do experimento, determinaram-se o rendimento de grãos, o peso de mil grãos e o número de grãos por espiga de plantas coletadas em cada sistema de preparo do solo.

A análise estatística dos resultados foi realizada por meio da análise da variância e as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). Foi utilizada também a análise de regressão linear simples entre as propriedades físicas do solo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade volumétrica do solo aumentou com a profundidade nos três sistemas de manejo. A mata apresentou a menor umidade (0,29 m³ m⁻³), comparada ao preparo convencional (0,33 m³ m⁻³) e ao plantio direto (0,36 m³ m⁻³), fato atribuído, provavelmente, à maior interceptação da água da chuva pelo dossel, à maior drenagem profunda, favorecida pelos macroporos (Bouma, 1991), e, principalmente, à maior evapotranspiração da vegetação (Quadro 2). No plantio direto, o armazenamento de água no solo foi superior ao dos demais sistemas. Quando comparado com o preparo convencional, o plantio direto apresentou 60 m³ ha⁻¹ a mais de água na camada de 0-0,20 m. O armazenamento de água no solo dependeu da distribuição de tamanho de poros, que variou principalmente com a textura e estrutura. Argenton (2000) observou, em um Latossolo Vermelho-Escuro muito argiloso, que a umidade na mata nativa foi de 0,26 m³ m⁻³, menor do que nos sistemas de preparo reduzido e convencional, ambos com 0,40 m³ m⁻³.

No quadro 2, observa-se que a quantidade de microporos não diferiu entre os sistemas; contudo,

Quadro 2. Propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho em dois sistemas de manejo do solo e na mata nativa. Lages (SC), 1998/99

Profundidade	Umidade	Microporo	Macroporo	PT ⁽¹⁾	Ds	K ₀	RP
m	m ³ m ⁻³				kg dm ⁻³	cm h ⁻¹	kg cm ⁻²
Preparo convencional							
0,0-0,05	0,27 Ac ⁽²⁾	0,39 Bb	0,23 Aa	0,62 Ba	1,01 Bb	27,3 ^{ns}	0,17 Cb
0,05-0,10	0,32 ABbc	0,42 Aab	0,17 Bab	0,59 Bab	1,09 Aab	15,1	2,08 Ba
0,10-0,15	0,36 Aab	0,42 ABab	0,16 Bb	0,58 Bb	1,11 Aa	0,9	1,67 Aa
0,15-0,20	0,37 ABa	0,45 Aa	0,13 Bb	0,57 Bb	1,13 Aa	9,3	2,58 Aa
Média	0,33 B	0,42 A	0,17 B	0,59 B	1,09 B	13,1 B	1,63 B
Plantio direto							
0,0-0,05	0,31 Ab	0,42 ABa	0,12 Ba	0,53 Cb	1,24 Aa	0,8 ^{ns}	4,65 Aa
0,05-0,10	0,35 Aab	0,43 Aa	0,13 Ba	0,56 Bab	1,17 Aab	1,6	3,86 Aab
0,10-0,15	0,38 Aa	0,44 Aa	0,12 Ba	0,56 Bab	1,16 Aab	0,8	2,53 Abc
0,15-0,20	0,39 Aa	0,44 Aa	0,14 Ba	0,59 Ba	1,09 Ab	1,9	1,80 Ac
Média	0,36 A	0,43 A	0,13 C	0,56 C	1,16 A	1,3 B	3,21 A
Mata							
0,0-0,05	0,28 Ab	0,44 Aa	0,25 Ab	0,69 Aab	0,81 Cab	35,3 ^{ns}	1,64 Ba
0,05-0,10	0,27 Bb	0,40 Aab	0,31 Aab	0,71 Aab	0,77 Bab	52,7	1,71 Ba
0,10-0,15	0,27 Bb	0,39 Bb	0,34 Aab	0,73 Aa	0,72 Bb	58,6	1,79 Aa
0,15-0,20	0,33 Ba	0,42 Aab	0,26 Ab	0,67 Ab	0,86 Ba	48,8	2,58 Aa
Média	0,29 C	0,41 A	0,29 A	0,70 A	0,79 C	48,8 A	1,93 B

⁽¹⁾ PT = porosidade total; Ds = densidade do solo; K₀ = condutividade hidráulica saturada e; RP = resistência do solo à penetração.

⁽²⁾ Letras maiúsculas diferentes, nas colunas, indicam diferença significativa entre sistemas em cada camada. Letras minúsculas diferentes, nas colunas, indicam diferença significativa entre camadas em cada sistema de manejo. Usou-se o teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

os macroporos decresceram da mata ($0,29 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para o preparo convencional ($0,17 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e deste para o plantio direto ($0,13 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Isto indica que os macroporos estavam mais sujeitos a mudanças impostas pelo manejo do que os microporos, fato também observado em um Latossolo Roxo por Machado & Brum (1978) e em um Podzólico Vermelho-Escuro por Trein et al. (1991). Segundo Bouma (1991), os macroporos estão relacionados com processos vitais para as plantas, devendo, o ambiente ser preservado. Para Taylor & Ashcroft (1972), os macroporos devem ser superiores a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ para permitir as trocas gasosas e o crescimento de raízes da maioria das culturas.

A redução nos macroporos refletiu significativamente na porosidade total que reduziu da mata ($0,70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para o sistema convencional ($0,59 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e plantio direto ($0,56 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). Com esta redução, observou-se um aumento significativo da densidade média do solo nos sistemas de preparo convencional ($1,09 \text{ Mg m}^{-3}$) e plantio direto ($1,16 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação à mata ($0,79 \text{ Mg m}^{-3}$). Esta compactação também ocorreu no preparo convencional, porém a mobilização do solo para o cultivo no verão descompactou as camadas mais superficiais do solo. Neste sistema, a densidade do solo aumentou com a profundidade, enquanto, no plantio direto, a maior densidade foi verificada na superfície (0-0,05 m) e decresceu em profundidade (Quadro 2).

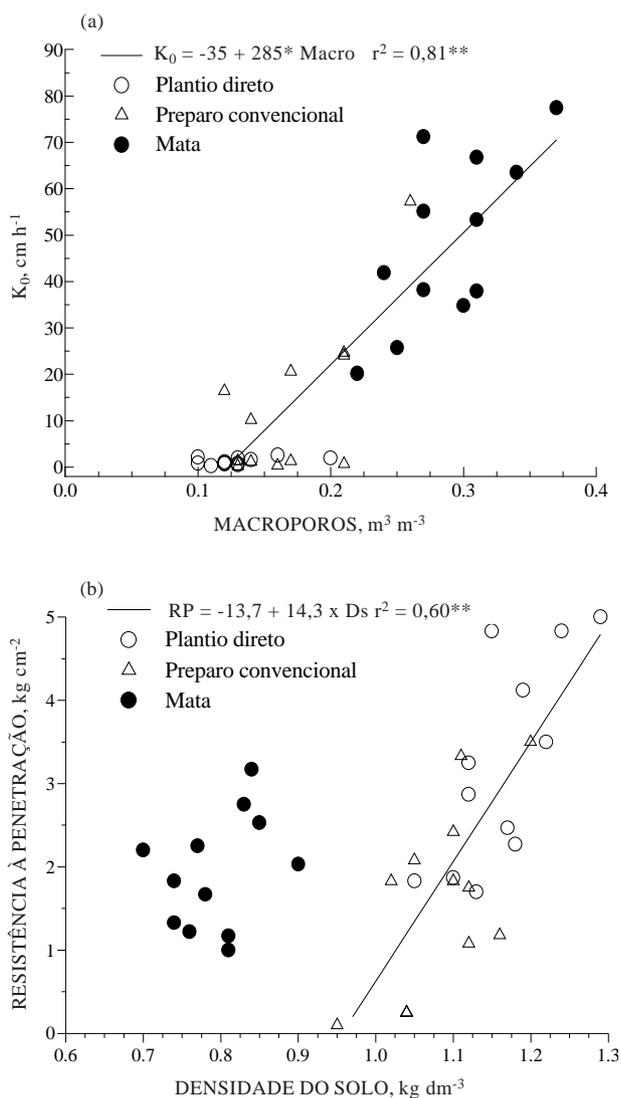


Figura 1. Relação entre a condutividade hidráulica saturada (K_p) e a macroporosidade para os três sistemas (a) e entre a resistência do solo à penetração e a densidade do solo nos sistemas de preparo convencional e plantio direto (b) em um Nitossolo Vermelho.

A condutividade hidráulica saturada no plantio direto foi 38 vezes menor do que na mata, atribuído a diminuição dos macroporos (Figura 1a), os quais são responsáveis pela drenagem da água (Silva et al., 1986). Observou-se que, quando a macroporosidade foi reduzida para $0,12 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, a condutividade hidráulica saturada foi nula (Figura 1a). Deve-se considerar que o solo avaliado apresenta textura argilosa. Já em solos de textura arenosa, esta relação pode não ser verificada, pois estes apresentam elevado volume de macroporos, mesmo quando compactados (Trein et al., 1991).

O aumento da densidade e a redução dos macroporos e da condutividade hidráulica saturada, provavelmente, deveram-se à compactação causada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas utilizados no plantio do milho e ao pisoteio animal no período de inverno, quando a umidade do solo é, geralmente, elevada.

Houve aumento da resistência do solo à penetração nas camadas superficiais no sistema plantio direto, principalmente de 0-0,10 m (Quadro 2 e Figura 2). Já no preparo convencional, a camada de 0-0,05 m apresentou a menor resistência do solo à penetração, decorrente da mobilização realizada no momento do preparo do solo (primavera). Na mata, a resistência do solo à penetração foi semelhante ao preparo convencional, porém com maior resistência na primeira camada.

A resistência do solo à penetração teve relação direta com a densidade do solo no sistema convencional e no plantio direto, enquanto na mata esta relação não foi observada (Figura 1b). Na mata, a alta resistência do solo à penetração pode estar relacionada com a coesão entre os agregados, mesmo tendo baixa densidade do solo. Esta suposição necessita de comprovação. Segundo Cintra & Mielniczuk (1983), a redução dos macroporos e o aumento da densidade do solo aumentam a resistência do solo à penetração, porém a capacidade de penetração das raízes nas camadas compactadas depende da cultura.

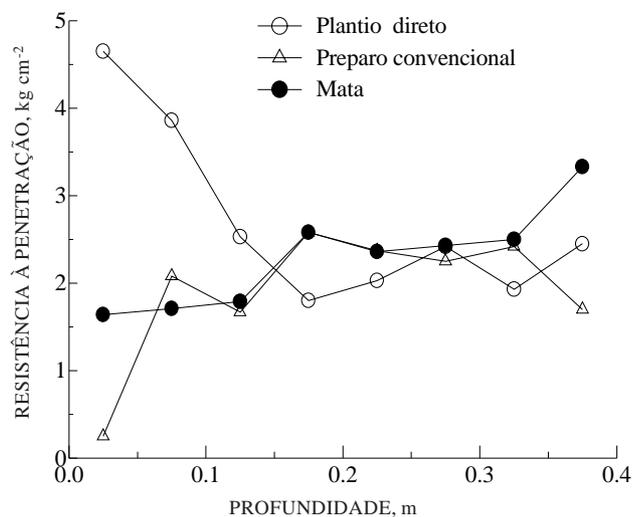


Figura 2. Resistência do solo à penetração nos sistemas de preparo convencional, plantio direto e mata em um Nitossolo Vermelho.

Observando a macroporosidade, porosidade total, densidade do solo, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica saturada (Quadro 2), constatou-se que a estrutura do solo foi degradada no sistema convencional e no plantio direto, em comparação à da mata, também relatadas por Argenton (2000).

As propriedades do solo relacionadas com a estrutura foram afetadas pelo manejo, pois a área experimental foi utilizada por sete anos para engorda de bovinos durante o inverno. Em regiões com solo argiloso e alta precipitação pluviométrica, a associação entre pecuária no inverno e lavouras no verão tem causado danos ao solo. Isto é evidenciado principalmente no sistema plantio direto, considerando a intensa compactação observada na camada superficial do solo. Neste sistema, é importante o agricultor controlar o momento adequado para a entrada de máquinas e animais nas áreas de lavoura. É recomendado retirar os animais e evitar o uso de máquinas muito

pesadas, quando o solo estiver muito úmido, acima do ponto de friabilidade. Outras práticas necessárias são a rotação de culturas com grande aporte de matéria orgânica e maior intervalo de tempo entre a retirada dos animais e o estabelecimento da cultura de verão, para permitir o crescimento da cultura de inverno que estava sendo pastejada.

No ano agrícola de (98/99), os efeitos da compactação podem ter sido mais danosos para a cultura do milho, visto que, no mês de novembro de 1998, ocorreu um período prolongado de déficit hídrico. No plantio direto, a redução dos macroporos e da porosidade total e o aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração podem ter reduzido a produtividade de grãos, a estatura das plantas, o número de folhas verdes, o peso de 1.000 grãos e o número de grãos por espiga, quando comparado ao preparo convencional (Quadro 3).

CONCLUSÕES

1. Em ambos os sistemas de manejo do solo, as propriedades físicas foram degradadas em relação à mata, tendo sido o sistema plantio direto mais danoso que o preparo convencional. No plantio direto, a maior compactação foi observada na superfície e, no preparo convencional, na camada de 0,10-0,20 m.
2. A compactação imposta pela integração lavoura-pecuária reduziu os macroporos e, conseqüentemente, a condutividade hidráulica saturada, e aumentou a resistência à penetração.
3. As modificações nas propriedades físicas do solo, observadas no sistema plantio direto, afetaram o crescimento e a produtividade da cultura do milho.
4. Em ambos os sistemas de manejo, o agricultor deve evitar o uso de máquinas pesadas e retirar os animais da área comum lavoura-pecuária, quando o solo estiver com umidade acima do ponto de friabilidade.

Quadro 3. Efeitos de sistemas de manejo de solo sobre algumas características da cultura do milho no ano agrícola de 98/99. Lages (SC)

Variável	Plantio direto	Preparo convencional
Produtividade de grãos, kg ha ⁻¹	6.404 b ⁽¹⁾	6.957 a
Peso de 1.000 grãos, g	292 b	311 a
Grãos por espiga, n ^o	348 b	401 a
Estatura de planta, m	1,89 b	2,00 a
Folhas verdes na antese, n ^o	10,0 b	11,0 a

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras minúsculas diferentes, na linha, diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

LITERATURA CITADA

- ARGENTON, J. Propriedades físicas do solo em dois sistemas de cultivo com plantas de cobertura de verão intercalares à cultura do milho. Lages, Universidade do estado de Santa Catarina, 2000. 97p. (Tese de Mestrado)
- BALL-COELHO, B.R.; ROY, R.C. & SWANTON, C.J. Tillage alters corn root distribution in coarse-textured soil. *Soil Till. Res.*, 45:237-249, 1998.
- BARBER, S.A. Effect of tillage practice on corn (*Zea mays*, L.) root distribution and morphology. *Agron. J.*, 63:724-726, 1971.
- BOENI, M.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SCAPINI, C.A. & BUENO, M.E.B. Densidade de raízes do milho e atributos do solo induzidos por pastejo e preparo do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROOM
- BOUMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Soil Sci.*, 46:1-37, 1991.
- BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.463-477.
- CINTRA, F.L.D. & MIELNICZUK, J. Potencial de algumas espécies vegetais para a recuperação de solos com propriedades físicas degradadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:197-201, 1983.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFS RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul. EMBRAPA/CNPT, 1995. 223p.
- DE MARIA, I.C.; CASTRO, O.M. & SOUZA DIAS, H. Atributos físicos do solo e crescimento radicular de soja em Latossolo Roxo sob diferentes métodos de preparo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:703-709, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, Produção de Informação, 1999. 412p.
- GERARD, C.J.; SEXTON, P. & SHAW, G. Physical factors influencing soil strength and root growth. *Agron. J.*, 74:875-879, 1982.
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. London, Academic Press, 1980. 413p.
- KLUTE, A. & DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.687-732.
- LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. Soil Sci.*, 1:277-294, 1985.
- LONGSDON, S.D.; RENEAU, R.B. & PARKER, J.C. Corn seedling root growth as influenced by soil physical properties. *Agron. J.*, 79:221-224, 1987.
- MACHADO, J.A. & BRUM, A.C.R. Efeito de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:81-84, 1978.
- MENGEL, D.B. & BARBER, S.A. Development and distribution of the corn root under field conditions. *Agron. J.*, 66:341-344, 1974.
- PAGÈS, L. & PELLERIN, S. Evaluation of parameters describing the root system architecture of field grown maize plants (*Zea mays* L.). *Plant Soil*, 164:169-176, 1994.
- SANGOI, L.; ENDER, M.; ALMEIDA, M.L.; KONFLANZ, V.A.; RAMPAZZO, C. & GRACIETTI, L.C. Manejo da adubação nitrogenada para milho em diferentes sistemas de preparo de solo. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE: MILHO & FEIJÃO, 2., Lages, 1999. Resumos. Lages, UDESC/EPAGRI, 1999. p.208-212.
- 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, V.R.; REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:191-199, 2000.
- TARDIEU, F. Analysis of the variability in maize root density. I. Effect of wheel compaction on the spatial arrangement of roots. *Plant Soil*, 107:259-266, 1988.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. *Physical edaphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.
- TAYLOR, H.M. & GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedling taproots as influenced by bulk density, moisture content, and strength of soil. *Soil Sci.*, 96:153-156, 1963.
- TREIN, C.R.; COGO, N.P. & LEVIEN, R. Métodos de preparo do solo na cultura do milho e ressemeadura do trevo, na rotação aveia + trevo/milho, após pastejo intensivo. *R. Bras. Ci. Solo*, 15:105-111, 1991.
- UNGER, W.P. & KASPAR, T.C. Soil compaction and root growth: A review. *Agron. J.*, 86:759-766, 1994.
- VOORHEES, W.B.; JOHNSON, J.F.; RANDALL, G.W. & NELSON, W.W. Corn growth and yield as affected by surface and subsoil compaction. *Agron. J.*, 81:294-303, 1989.
- WAGGER, M.G. & DENTON, H.P. Influence of cover crop and wheel traffic on soil physical properties in continuous no-till corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53:1206-1210, 1989.

