

PROPRIEDADES FÍSICAS DE UM LATOSSOLO BRUNO AFETADAS PELOS SISTEMAS PLANTIO DIRETO E PREPARO CONVENCIONAL⁽¹⁾

F. S. COSTA⁽²⁾, J. A. ALBUQUERQUE⁽³⁾, C. BAYER⁽⁴⁾,
S. M. V. FONTOURA⁽⁵⁾ & C. WOBETO⁽⁵⁾

RESUMO

A qualidade física de solos agrícolas pode ser afetada pelo sistema de manejo, sendo a magnitude das alterações dependente do tempo de uso do solo e das condições edafoclimáticas. Neste estudo, avaliou-se o efeito de longo prazo (21 anos) dos sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) sobre propriedades físicas da camada de 0-0,2 m de um Latossolo Bruno aluminico câmbico (629 g kg⁻¹ de argila), em Guarapuava (PR). Em relação à área sob mata nativa, contígua ao experimento e tomada como referência, o cultivo do solo em PC resultou não só no aumento da densidade global (Ds), na resistência do solo à penetração (RP) e na temperatura do solo, mas também na diminuição do diâmetro médio geométrico dos agregados (DMG). A adoção do sistema PD promoveu uma melhoria nas propriedades físicas do solo em comparação ao PC, evidenciada pela diminuição de 9 % (de 1,08 para 0,99 Mg m⁻³) na Ds em subsuperfície (0,1-0,2 m), de 13 % (de 27,9 para 24,7 °C) nas temperaturas máximas (15 h), na camada de 0-0,05 m; e pelo aumento de 126 % (de 1,6 para 3,7 mm) no DMG dos agregados na superfície do solo (0-0,05 m), e de 26 % (de 0,38 m³ m⁻³ para 0,48 m³ m⁻³) no conteúdo de água volumétrica de 0-0,1 m. Por outro lado, o PC e o PD não se diferenciaram quanto aos seus efeitos na porosidade do solo (total, macro e micro), na condutividade hidráulica saturada, na resistência do solo à penetração e no grau de floculação de argila. O rendimento das culturas de soja (18 safras) e milho (4 safras) foi, respectivamente, 42 e 22 % superior em PD do que em PC, o que, possivelmente, reflete a melhoria na qualidade física do solo.

Termos de indexação: sistemas de manejo, qualidade do solo, produtividade de culturas, sustentabilidade.

⁽¹⁾ Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao PPG-Ciência do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Recebido para publicação em janeiro de 2002 e aprovado em abril de 2003.

⁽²⁾ Doutorando no PPG-Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Caixa Postal 776, CEP 90001-970 Porto Alegre (RS). E-mail: falberni.costa@ufrgs.br

⁽³⁾ Professor do Departamento de Solos da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC. Av. Luiz de Camões 2090 Lages (SC). E-mail: a2ja@cav.udesc.br

⁽⁴⁾ Professor do Departamento de Solos, UFRGS. Pesquisador do CNPq. E-mail: cimelio.bayer@ufrgs.br

⁽⁵⁾ Pesquisador da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA. Colônia Vitória, Entre-Rios, Guarapuava (PR). E-mail: sandrav@agraria.com.br; cwoberto@agraria.com.br

SUMMARY: *PHYSICAL PROPERTIES OF A SOUTH BRAZILIAN OXISOL AS AFFECTED BY NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEMS*

Soil management affects the soil physical quality, but the magnitude of the changes is dependent of use time and regional edaphoclimatic conditions. The objective of this study was to evaluate the long-term (21 yr) effect of conventional tillage (CT) and no-tillage (NT) systems on some physical properties in the 0.2 m top layer of an Oxisol from Paraná, southern Brazil. In comparison with an adjacent forest soil used as reference, the use of CT system increased the soil bulk density, penetrometer resistance and soil temperature; and decreased the mean geometric diameter of soil aggregates. The main changes in soil attributes by using NT in comparison with CT were: decrease in soil bulk density in subsurface layer (0.1-0.2 m) from 1.08 to 0.99 Mg m⁻³; decrease in maximum soil temperature in the 0-0.05 m layer from 27.9 to 24.7 °C; increase in mean geometric diameter of soil aggregates from 1.6 to 3.7 mm at 0-0.05 m layer; and increase in volumetric soil water content in the 0-0.1 m layer from 0.38 to 0.48 m³ m⁻³. However, there were no differences between effects of tillage systems on soil porosity (total, macro and microporosity), saturated hydraulic conductivity, penetrometer resistance, and clay flocculation degree. The amelioration of physical properties in no-tilled soil may be related to increases of 42% in soybean and 22% in corn yields in this conservation tillage system, in comparison with CT system.

Index terms: soil management systems, soil quality, crop productivity, sustainability.

INTRODUÇÃO

Uma das principais metas da pesquisa em manejo de solos é identificar e desenvolver sistemas de manejo de solo adaptados às condições edafoclimáticas, sociais e culturais regionais. Do ponto de vista técnico, o sistema de manejo deve contribuir para a manutenção ou melhoria da qualidade do solo e do ambiente, bem como para a obtenção de adequadas produtividades das culturas a longo prazo.

A relação entre o manejo e a qualidade do solo pode ser avaliada pelo seu efeito nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Doran & Parkin, 1994). Dentre as propriedades físicas do solo, a estrutura é uma propriedade sensível ao manejo, cuja qualidade pode ser analisada segundo variáveis relacionadas com sua forma (Albuquerque et al., 1995) e, ou, com sua estabilidade (Campos et al., 1995). O efeito do manejo sobre as propriedades físicas do solo é dependente da sua textura e mineralogia, as quais influenciam a resistência e a resiliência do solo a determinada prática agrícola (Seybold et al., 1999).

Geralmente, as práticas de manejo têm maior impacto sobre as propriedades físicas de solos arenosos do que de solos argilosos. Nesse sentido, Silva & Mielniczuk (1997) verificaram redução do diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados de 71 % num Argissolo Vermelho (220 g kg⁻¹ de argila) e de 47 % num Latossolo Roxo (680 g kg⁻¹ argila), quando passaram de uma condição de campo nativo para preparo convencional com culturas anuais e lavração e gradagem. Por outro lado, os autores verificaram um aumento da estabilidade de

agregados de ambos os solos quando submetidos ao sistema plantio direto. O DMP dos agregados passou de 0,61 mm, no Argissolo, e de 1,76 mm, no Latossolo, em preparo convencional, para valores de 0,91 e 1,90 mm, respectivamente, em plantio direto. Em termos relativos, o aumento ocorrido na estabilidade de agregados do solo em plantio direto foi de 49 e 8 %, respectivamente, no Argissolo franco-arenoso e no Latossolo argiloso.

Além da classe de solo, as condições climáticas, os sistemas de cultura utilizados, o tempo de uso dos diferentes sistemas de manejo e a condição de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo determinam a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo. Isso explica, em parte, os diferentes resultados obtidos quanto ao efeito dos sistemas de preparo convencional e plantio direto na densidade do solo, na porosidade e na resistência do solo à penetração (Abrão et al., 1979; Eltz et al., 1989; Bertol et al., 2000). Por outro lado, normalmente tem sido observado no solo em plantio direto um aumento no conteúdo de água, (Salton & Mielniczuk, 1995), na condutividade hidráulica saturada (Sidiras et al., 1984) e na estabilidade de agregados do solo (Carpenedo & Mielniczuk, 1990), bem como uma diminuição das temperaturas máximas do solo (Bragagnollo & Mielniczuk, 1990).

O objetivo deste estudo foi verificar os efeitos de longo prazo (21 anos) dos sistemas de plantio direto e preparo convencional sobre algumas propriedades físicas de um Latossolo Bruno aluminico câmbico. O rendimento acumulado de grãos das culturas do

milho e da soja também foi avaliado e interpretado em relação às alterações nas propriedades físicas do solo.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em experimento de longa duração (21 anos), no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária - FAPA (25 °33 'S; 51 °29 'W), Colônia de Entre Rios, Guarapuava (PR). O clima da região é do tipo Cfb, segundo classificação climática de Köppen, sem estação seca durante o ano e com geadas frequentes e severas no inverno. A precipitação média anual é de 2.022 mm, e a temperatura média anual de 16,5 °C (Jaster et al., 1993). O solo da área experimental é um Latossolo Bruno aluminico câmbico, com horizonte A proeminente, relevo suave ondulado e substrato basalto (EMBRAPA, 1999), com classe textural variando de argilosa a muito argilosa (Quadro 1). Na fração argila do solo, ocorre predomínio de caulinita e gibsita e, em menor quantidade, minerais 2:1 com hidróxi-Al nas entrecamadas, hematita e goethita (Costa, 2001).

A área em estudo tem como vegetação clímax a mata nativa (Maack, 1948). Com a sua remoção, em aproximadamente 1910-1920, a mata deu lugar ao campo natural, composto por espécies nativas, principalmente gramíneas. A partir de 1950, o solo

foi cultivado com arroz (*Oryza sativa*) e trigo (*Triticum aestivum*), durante 12 anos no sistema de preparo convencional, com lavração e gradagens. De 1962 a 1968, a área foi utilizada com pastagem melhorada para o gado leiteiro. Nos anos seguintes, até 1978, o solo foi cultivado na sucessão trigo/soja (*Glicine max*) em preparo convencional, com aração e gradagens. No inverno de 1978, a área foi corrigida com 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário e 300 kg ha⁻¹ de Escória de Thomas, semeando-se soja na primavera-verão como a primeira cultura do experimento. No quadro 1, é apresentada a caracterização química e granulométrica do solo antes do início do experimento e 21 anos após a instalação do experimento; uma área de mata nativa, contígua à área do experimento, foi utilizada como referência da condição original do solo da área experimental.

O experimento, em delineamento de blocos ao acaso, com três repetições, foi constituído pelos sistemas de PC e PD, aplicados na instalação das culturas de inverno e de primavera-verão. O sistema PC consistiu numa aração com arado de discos, na profundidade de até 0,2 m, e duas gradagens, sendo uma com grade niveladora e outra com grade de dentes. O sistema PD consistiu no revolvimento do solo apenas na linha de semeadura e foi realizado com máquinas semeadora-adubadoras adaptadas para esse sistema. No período de 1978-1985, cultivou-se a sucessão trigo/soja, e de 1986 a 1999, utilizou-se um sistema de rotação de culturas envolvendo aveia branca (*Avena sativa*), trigo,

Quadro 1. Caracterização química e granulométrica de um Latossolo Bruno aluminico câmbico antes do início e 21 anos depois do experimento, em preparo convencional e plantio direto, e de uma área de mata nativa adjacente. Guarapuava (PR)

Profundidade	Ca	Mg	K	Al	pH-H ₂ O	CO ⁽²⁾	Argila	Silte	Areia
m	cmol _c kg ⁻¹					g kg ⁻¹			
Início do experimento (1978)									
0-0,2	5,7 ⁽¹⁾	-	0,25	0,15	5,5	28	-	-	-
Após 21 anos de realização do experimento (2000)									
Preparo convencional									
0-0,05	1,6	0,3	0,41	1,0	5,1	34	595	329	76
0,05-0,1	1,8	0,4	0,41	1,0	5,1	34	573	351	76
0,1-0,2	1,9	0,4	0,40	1,0	5,2	34	671	254	75
Plantio direto									
0-0,05	3,1	0,7	0,70	1,2	4,9	44	559	382	59
0,05-0,1	1,5	0,3	0,30	1,9	4,8	36	596	337	67
0,1-0,2	1,4	0,3	0,24	1,5	5,0	34	608	326	66
Sob vegetação original (mata nativa)									
0-0,05	4,4	1,9	0,40	1,8	4,8	48	670	262	67
0,05-0,1	1,1	0,7	0,20	2,7	4,8	34	606	311	82
0,1-0,2	0,6	0,4	0,16	3,4	4,8	29	695	225	81

Fonte: Jaster et al. (1993) e Costa (2001).

⁽¹⁾ Ca + Mg. ⁽²⁾ Carbono orgânico.

cevada (*Hordeum vulgare*), ervilhaca peluda (*Vicia Vilosa*), nabo forrageiro (*Raphanus raphanistrum*), soja e milho (*Zea mays*). A rotação de culturas foi a mesma em todos os sistemas de manejo do solo, e as operações de aplicação de defensivos e colheita foram realizadas com equipamentos utilizados em lavouras comerciais, obedecendo aos mesmos critérios técnicos destas. O manejo das plantas de cobertura foi feito por dessecação com herbicidas.

As propriedades físicas do solo foram avaliadas em janeiro de 2000, durante o desenvolvimento da cultura do milho. Três subamostras foram coletadas manualmente, com auxílio de espátula, nas profundidades de 0-0,05, 0,05-0,1 e 0,1-0,2 m. A coleta de amostras de solo com estrutura preservada foi realizada com anéis metálicos (54 x 50 mm) nas mesmas camadas de solo. A resistência do solo *in situ* foi avaliada com auxílio de um penetrômetro de bolso (Bradford, 1986) marca Humboldt, sendo realizadas quatro leituras por camada e os resultados expressos em MPa. Tanto a coleta das amostras de solo como a avaliação da resistência do solo foram realizadas em trincheiras de 0,5 x 0,5 x 0,5 m, abertas manualmente.

Nas amostras de solo com estrutura preservada, foram determinadas, a macroporosidade, pelo método da mesa de tensão (EMBRAPA, 1997), a condutividade hidráulica saturada, pelo método do permeâmetro de carga constante (Klute & Dirksen, 1986), e a densidade do solo, pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986). A partir dos valores de densidade do solo e da densidade de partícula, determinados pelo método do balão volumétrico (EMBRAPA, 1997), calculou-se a porosidade total. A microporosidade foi calculada pela diferença entre a porosidade total e a macroporosidade. A estabilidade de agregados em água foi mensurada conforme Kemper & Chepil (1965) e representada pelo diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados em milímetro (mm).

A temperatura do solo foi determinada a 0,05 m de profundidade nos dias 19 e 20 de janeiro de 2000, utilizando-se geotermômetros com precisão de 0,2 °C (Jackson & Taylor, 1986), em apenas uma repetição nas áreas de mata, PC e PD, por causa da limitação de geotermômetros. A leitura da temperatura do solo foi horária, das nove às quinze horas, estando o solo sob a cultura do milho, no estádio de grão leitoso. No verão seguinte (16, 20, 23 e 27 de novembro e 03 e 06 de dezembro de 2000), o conteúdo de água do solo foi avaliado nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m, durante o desenvolvimento da cultura da soja. As amostras foram secas em estufa a 105 °C até peso constante, e calculada a umidade volumétrica. O armazenamento de água (m³) nas camadas amostradas foi calculado a partir da umidade volumétrica (m³ m⁻³) do solo e da espessura da camada (m).

Durante o período experimental, avaliou-se o rendimento de 18 safras de soja e de quatro safras

de milho. A colheita das culturas foi realizada com automotriz numa área útil de 800 m² (8 x 100 m), ou seja, excluindo-se 2 m de cada lado da parcela experimental. A grande área útil avaliada contribuiu para a obtenção de baixos coeficientes de variação nos dados de rendimento (4 a 6 %) durante o período experimental. Rendimentos acumulados das culturas foram calculados com base na umidade de grão de 13 %.

Os efeitos dos sistemas de manejo de solo sobre as propriedades físicas foram avaliados pela análise de variância segundo o delineamento de blocos casualizados, individualmente por camada de solo. A área de mata não foi incluída na análise estatística por não atender aos pressupostos do respectivo delineamento experimental. A diferença entre médias de tratamentos foi avaliada pelo teste de Tukey, a 5 %. Os resultados de temperatura do solo e de rendimento de soja e de milho não foram analisados estatisticamente, visto que a temperatura do solo foi determinada em apenas uma repetição dos tratamentos, e apenas os rendimentos médios das três repetições, do período 1978-1987, encontram-se disponíveis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Densidade do solo

Em relação ao solo sob mata, houve uma tendência de incremento na densidade do solo em todas as camadas, tanto no PC quanto no PD (Quadro 2). Isso demonstra que o uso do solo para fins agrícolas, independentemente do sistema de manejo utilizado, promove alterações nas suas propriedades físicas. A densidade não foi estatisticamente diferente entre os sistemas de manejo nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m. É possível que a maior densidade do solo sob PC em relação ao PD na camada de 0,1-0,2 m seja decorrente da transmissão da pressão realizada na superfície do solo pelas máquinas e implementos, pela compressão exercida pela lâmina dos discos do arado, bem como do pneu do trator rodando no sulco de aração naquele sistema.

A evolução temporal da densidade do solo após 8 (em 1986) e 21 anos (em 2000) da utilização dos sistemas de PC e PD pode ser visualizada na figura 1. No solo sob PC, houve incremento da densidade do solo de 1986 para 2000, indicando que, embora práticas mitigadoras do processo de degradação física do solo, como rotação de culturas e manutenção dos resíduos culturais no solo, tenham sido adotadas, a degradação física do solo parece estar acentuando-se ao longo do tempo. Por sua vez, no solo sob PD, houve tendência de aumento na densidade apenas na camada superficial (0-0,05 m) de 1986 a 2000, enquanto, nas demais camadas,

houve redução da densidade do solo neste período. Enquanto o aumento de densidade em superfície pode ser devido ao trânsito de máquinas e, ou, ao adensamento natural, a diminuição em subsuperfície indica uma melhoria na qualidade física do solo decorrente possivelmente da atividade da fauna edáfica e de raízes, as quais atuam na formação de canais (bioporos). Estes resultados são semelhantes aos obtidos por Albuquerque et al. (1995) e Bertol et al. (2000), mas discordam dos apresentados por Abrão et al. (1979), que verificaram maior densidade do solo em subsuperfície sob plantio direto.

Além da classe de solo, a condição de umidade de solo, na qual são realizadas as operações de preparo, semeadura, tratamentos fitossanitários e colheita, é fundamental no comportamento da densidade do solo em diferentes sistemas de manejo, os quais provavelmente auxiliam a explicar os resultados obtidos em diferentes estudos. Adicionalmente, o tempo de utilização dos sistemas de manejo também é uma variável importante a ser considerada e ressalta a importância dos experimentos de longa duração na avaliação do efeito do manejo sobre a qualidade do solo.

Porosidade total, microporosidade e macroporosidade

A porosidade total (PT) do solo variou de 0,59 a 0,64 m³ m⁻³, com a mata e os sistemas de manejo do solo apresentando valores semelhantes (Quadro 2). A menor PT do solo sob PC em relação ao PD na camada de 0,1-0,2 m pode indicar presença de compactação subsuperficial no solo em PC. A microporosidade e a macroporosidade não diferiram estatisticamente entre os sistemas de manejo e,

praticamente, não apresentaram evidências de terem sido afetadas pelos sistemas em relação à mata. A mobilização do solo sob PC duas vezes ao ano pode estar relacionada com os valores semelhantes de macroporosidade em relação à mata, principalmente nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,1 m. Entretanto, tanto na mata como nos sistemas de manejo, a macroporosidade, ou porosidade de aeração, foi superior ao mínimo considerado restritivo ao desenvolvimento radicular (0,10 m³ m⁻³) (Vomocil & Flocker, 1961), embora esse valor limite dependa do tipo de planta e do nível de atividade biológica do solo (Gupta et al., 1989), entre outros fatores. Pequenas reduções na macroporosidade em solos sob PD também foram observadas por Tormena et al. (1998).

Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada (Ks) (Quadro 2), segundo limites propostos por Klute & Dirksen (1986), foi baixa em todas camadas dos sistemas de uso e manejo do solo, apresentando coeficiente de variação de 75 a 152 % entre repetições, concordando com a grande variabilidade desta determinação obtida por outros autores (Van Es et al., 1999). Provavelmente, devido aos altos valores de coeficiente de variação, a Ks não foi diferente estatisticamente entre os sistemas de manejo do solo. Contudo, a tendência de redução dos valores de Ks com o aumento da profundidade do solo no PC, e aumento no solo em PD, possivelmente reflita o efeito dos sistemas de preparo sobre a densidade e porosidade do perfil do solo (Quadro 2).

Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração nas áreas de mata e de sistemas de manejo variou de 0,51 x 10⁻¹ MPa, no solo sob PC, a 2,0 x 10⁻¹ MPa, no solo sob PD, e não foi afetada significativamente pelos sistemas de manejo (Figura 2a). Apesar disso, o solo sob PD apresentou os maiores valores absolutos de resistência do solo à penetração em todas as camadas. O maior conteúdo de água no solo sob PD (0-0,05 e 0,05-0,1 m) no momento da coleta das amostras em relação ao PC (Quadro 2), o qual poderia contribuir para uma menor resistência do solo ao penetrômetro, parece indicar a possibilidade de uma compactação superficial no solo sob PD. Entretanto, esse efeito somente foi significativo pelo teste de Tukey a 7 %, decorrente do alto coeficiente de variação (42 a 67 %) da resistência do solo à penetração.

Grau de floculação

O grau de floculação (GF) não foi afetado significativamente pelos sistemas de uso e manejo do solo em todas as camadas (Figura 2b). A partir dos maiores teores de cátions trocáveis, sobretudo na camada de 0-0,05 m (Quadro 1), era esperada uma maior floculação da argila no solo sob mata, o que, entretanto, não ocorreu. Outros fatores

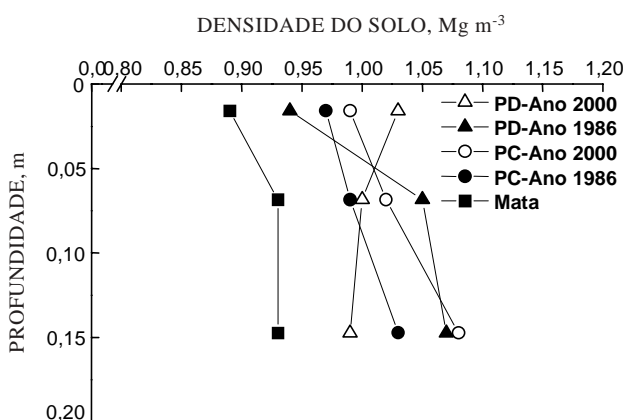


Figura 1. Evolução temporal da densidade de um Latossolo Bruno aluminico câmbico aos 8 anos (1986) e aos 21 anos (2000) de cultivo com sistemas de preparo convencional e plantio direto, em comparação ao solo sob mata. Guarapuava, PR. Os resultados referentes ao ano de 1986 foram obtidos em Eltz et al. (1989).

Quadro 2. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Mi), macroporosidade (Ma), umidade volumétrica (Uv) e condutividade hidráulica saturada (Ks) de um Latossolo Bruno aluminico câmbico sob mata natural e 21 anos sob preparo convencional e plantio direto. Guarapuava (PR)

Profundidade	Ds	PT	Mi	Ma	Uv	Ks
m	Mg m ⁻³	m ³ m ⁻³				cm h ⁻¹
Mata nativa						
0-0,05	0,89	0,64	0,44	0,20	0,34	13,3
0,05-0,1	0,93	0,63	0,46	0,17	0,37	3,5
0,1-0,2	0,93	0,63	0,46	0,17	0,37	3,4
Preparo convencional						
0-0,05	0,99 a	0,64 a	0,43 a	0,21 a	0,35 b	8,9 a
0,05-0,1	1,02 a	0,61 a	0,42 a	0,19 a	0,38 b	13,4 a
0,1-0,2	1,08 a	0,59 b	0,46 a	0,13 a	0,42 a	1,6 a
Plantio direto						
0-0,05	1,03 a	0,60 a	0,45 a	0,15 a	0,40 a	4,4 a
0,05-0,1	1,00 a	0,61 a	0,45 a	0,16 a	0,41 a	4,4 a
0,1-0,2	0,99 b	0,62 a	0,47 a	0,15 a	0,43 a	11,3 a

Médias de sistemas de preparo, em cada camada de solo, seguidas de letras iguais não diferem significativamente pelo teste de Tukey a 5 %. Os valores referentes ao solo de mata não foram analisados estatisticamente.

biológicos, tais como: a maior atividade bacteriana, decorrente da menor acidez do solo (De Boer & Kowalchuk, 2001), e alterações na qualidade da matéria orgânica (Hu et al., 1997) podem ser responsáveis pela menor dispersão de argila, em valor absoluto, na camada de 0-0,05 m do solo cultivado em comparação ao solo sob mata.

Estabilidade de agregados

O maior DMG dos agregados foi observado na camada superficial do solo sob PD (3,7 mm), em comparação ao solo sob PC (1,6 mm), indicando um efeito positivo do não-revolvimento do solo e acúmulo de resíduos vegetais na superfície sobre a estabilidade de agregados (Figura 2c). Nas demais camadas do solo, as diferenças no DMG dos agregados foram menores entre os sistemas de manejo de solo, com o PC apresentando maior DMG na camada subsuperficial (0,1-0,2 m). Efeitos semelhantes do PD no aumento da estabilidade de agregados têm sido verificados em Argissolos (Albuquerque et al., 1994) e Latossolos (Campos et al., 1995) do Sul do Brasil. Segundo Silva & Mielniczuk (1997), a magnitude das alterações é dependente da textura e mineralogia do solo. Altos teores de argila e predominância de minerais de carga variável caracterizam, geralmente, solos com maior resistência às alterações físicas resultantes do manejo, em relação, principalmente, a solos arenosos.

Temperatura do solo

A temperatura e o regime térmico do solo dependem da sua cobertura superficial, com vegetação ou resíduos, e do conteúdo de água, além

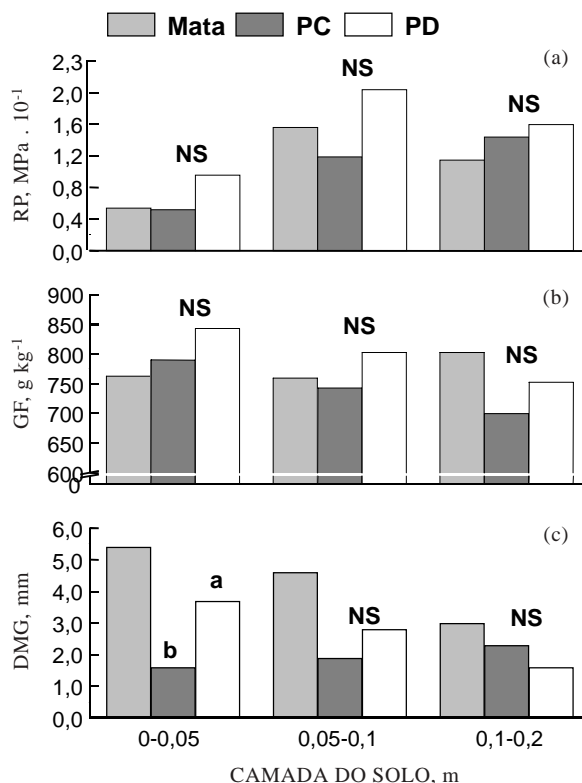


Figura 2. Resistência do solo à penetração - RP (a), grau de flocculação de argila - GF (b) e diâmetro médio geométrico de agregados - DMG (c) em diferentes camadas de um Latossolo Bruno aluminico câmbico sob mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD). Guarapuava, PR. Letras diferentes, em cada profundidade, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %. NS = não-significativo.

da intensidade e duração da radiação solar (Hillel, 1998). Neste estudo, o comportamento da temperatura do solo foi semelhante nos dois dias de avaliação, com o solo sob PC apresentando sempre as maiores temperaturas, o solo sob PD com valores intermediários, e o solo de mata com os menores valores (Figura 3). A temperatura do solo, no dia 19/01, alcançou 29,5 °C no solo sob preparo convencional, enquanto, no solo em plantio direto, a temperatura máxima foi de 25,9 °C. Na média dos dois dias avaliados, a temperatura máxima do solo em PC foi aproximadamente 5 °C mais alta do que no solo em PD. A menor temperatura do solo em PD pode ser consequência, além da cobertura superficial do solo pelos resíduos vegetais da cultura anterior, à sua maior umidade volumétrica na camada superficial (Figura 4). O maior conteúdo de água no solo em PD também contribuiu para a diminuição da amplitude térmica do solo de 7,4 °C, no PC, para 4,4 °C, no PD.

Conteúdo de água no solo

O solo em PD apresentou maior umidade volumétrica do que o solo em PC na camada de 0-0,1 m (Figura 4). Na camada de 0,1-0,2 m, a umidade do solo não diferiu entre os sistemas de manejo. Dois fatores principais podem ter contribuído para a maior umidade na camada superficial do solo em PD: a maior infiltração de água no solo, decorrente da não-formação de selo superficial (Dexter, 1988), e a menor evaporação de água, decorrente da cobertura do solo por resíduos (Salton & Mielniczuk, 1995). Bragagnolo & Mielniczuk (1990), na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, determinaram uma diminuição na evaporação de água de 2,64 mm dia⁻¹, em solo descoberto, para 1,22 mm dia⁻¹, em solo

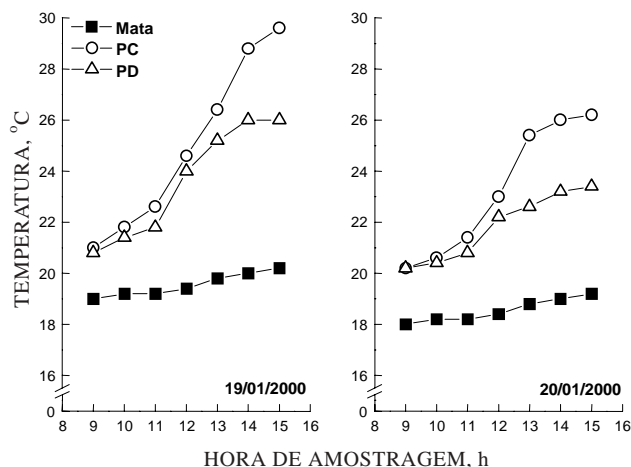


Figura 3. Temperatura do solo (0-0,05 m) de um Latossolo Bruno aluminico câmbico sob mata, preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) aos 19 e 20 dias de janeiro de 2000. Guarapuava (PR).

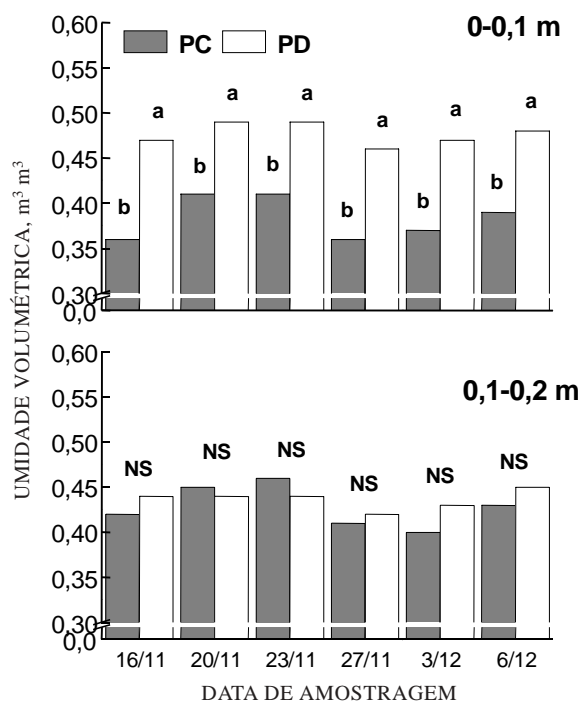


Figura 4. Umidade volumétrica de um Latossolo Bruno aluminico câmbico sob preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) nas camadas de 0-0,1 e 0,1-0,2 m. Guarapuava (PR). Letras diferentes, em cada data de amostragem, indicam diferença significativa pelo teste de Tukey, a 5 %. NS = não-significativo.

coberto por 7,5 t ha⁻¹ de palha de trigo. Como consequência da menor evaporação, os autores verificaram que o solo coberto apresentou sempre maior umidade volumétrica do que o solo descoberto.

O armazenamento de água na camada de 0-0,2 m foi 99 m³ ha⁻¹ superior no solo sob PD (913 m³) do que em PC (814 m³). Pressupondo que o nível crítico inferior de disponibilidade de água (ponto de murcha permanente) seja determinado pela textura e mineralogia do solo e, portanto, pouco influenciado pelo manejo, o maior conteúdo de água no solo sob PD indica maior disponibilidade hídrica para as culturas.

Rendimento de grãos de soja e milho

As culturas da soja (18 safras) e do milho (4 safras) apresentaram um rendimento de grãos acumulado 42 e 22 % maiores no sistema PD do que no PC, respectivamente (Quadro 3). Os maiores rendimentos das culturas no sistema PD em comparação ao PC indicam que, no mínimo, nenhum fator físico está restringindo o desenvolvimento do sistema radicular das culturas no solo sob PD, há 21 anos sem revolvimento. Esses resultados são importantes, visto que foram obtidos num experimento de longa duração, com as operações de

Quadro 3. Rendimento de grãos de milho e soja em preparo convencional e plantio direto em um Latossolo Bruno aluminico câmbico. Guarapuava (PR)

Cultura	Nº safra	Rendimento				PD/PC
		Médio		Acumulado		
		PC	PD	PC	PD	
Mg ha ⁻¹						
Soja	18	1,44	2,06	26,0	37,0	1,42
Milho	4	6,75	8,25	27,0	33,0	1,22

Rendimento de grãos não foram submetidos à análise estatística porque não se dispõe dos resultados referentes às repetições experimentais do período inicial do experimento (1978-1987).

preparo do solo, tratos culturais e controles fitossanitários realizados com implementos e critérios de lavouras comerciais. Desta forma, os resultados obtidos demonstram que, para este Latossolo Bruno, havendo o cuidado de realizar-se o trânsito de máquinas em condições adequadas de umidade do solo, não ocorrem problemas com compactação e, portanto, não há necessidade de revolvê-lo periodicamente.

Considerando a não-ocorrência de fator químico limitante ao desenvolvimento vegetal no solo em PC (Ciotta, 2001), é possível que o regime hídrico mais favorável no solo sob PD (Figura 4) tenha sido um fator importante para os maiores rendimentos do milho e da soja no sistema PD, em comparação ao PC. Aliadas à maior umidade volumétrica, as temperaturas mais amenas do solo sob PD (Figura 3) podem ser responsáveis pelos maiores rendimentos, principalmente da cultura da soja, cuja temperatura ideal durante o seu ciclo é em torno de 20-25 °C. Assim, as temperaturas de até 25 °C verificadas na camada superficial (0-0,05 m) do solo sob PD podem ter efeito favorável ao rendimento de grãos de soja, em comparação ao solo em PC, no qual as temperaturas foram aproximadamente 3 °C superiores.

CONCLUSÕES

1. O sistema de preparo convencional degradou as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo em relação à mata nativa, indicadas pelo aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração e pela diminuição da estabilidade de agregados.

2. O solo em plantio direto apresentou melhores condições estruturais, evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo.

3. O solo sob plantio direto apresentou menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do que o solo sob preparo convencional, o que, juntamente com a melhoria nas demais propriedades físicas do solo, pode ter contribuído para os maiores rendimentos acumulados de soja e milho naquele sistema de manejo.

AGRADECIMENTOS

À Cooperativa Agrária, pela manutenção, condução e financiamento do experimento desde a instalação até o presente momento. Ao Eng^o. Agr^o. Sr. Franz Jaster, pela instalação e realização do experimento na sua fase inicial, cuja iniciativa pioneira representou grande contribuição para o avanço do entendimento e adoção de sistemas conservacionistas de manejo do solo no Sul do Brasil.

LITERATURA CITADA

- ABRÃO, P.U.R.; GOEPFERT, C.F.; GUERRA, M.; ELTZ, F.L.F. & CASSOL, E.A. Efeitos de sistemas de preparo do solo sobre características de um Latossolo Roxo distrófico. R. Bras. Ci. Solo, 3:169-172, 1979.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J. & FIORIN, J.E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. Ci. Rural, 24:275-280, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FIORIN, J.E.; RUEDELL, J. PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. R. Bras. Ci. Solo, 19:115-119, 1995.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. Ci. Rural, 30:91-95, 2000.

- BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.363-375.
- BRADFORD, J.M. Penetrability. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.463-477.
- BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:369-374, 1990.
- CAMPOS, R.C.; REINERT, D.J.; NICOLODI, R.; RUEDELL, J. & PETRERE, C. Estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho-Escuro distrófico após sete anos de rotação de culturas e sistemas de manejo do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:121-126, 1995.
- CARPENEDO, V. & MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:99-105, 1990.
- CIOTTA, M.N. Componentes da acidez do solo e calagem superficial em um Latossolo Bruno aluminico sob plantio direto há 20 anos. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 100p. (Tese de Mestrado)
- COSTA, F.S. Propriedades físicas e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno sob sistemas de manejo em experimento de longa duração. Lages, Universidade do Estado de Santa Catarina, 2001. 98p. (Tese de Mestrado)
- DE BOER, W. & KOWALCHUK, G.A. Nitrification in acid soils: micro-organisms and mechanisms. *Soil Biol. Biochem.*, 33:853-866, 2001.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W., COLEMAN, D.C., BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, Soil Science Society of America, 1994. p.3-21. (Special publication, 35)
- ELTZ, F.L.P.; PEIXOTO, R.T.G. & JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno álico. *R. Bras. Ci. Solo*, 13:259-267, 1989.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Manual de métodos de análise de solo*. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 1999. 412p.
- GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. & DEFANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron.*, 42:311-338, 1989.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. San Diego, Academic Press, 1998. p.309-339.
- HU, S.; COLEMAN, D.C.; CARROL, C.R.; HENDRIX, P.F. & BEARE, M.H. Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystems as influenced by management practices and vegetation types. *Agric. Ecosys. Environ.*, 65:69-78, 1997.
- JACKSON, R.D. & TAYLOR, S.A. Thermal conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.945-955.
- JASTER, F.; ELTZ, F.L.F.; FERNANDES, F.F.; MERTEN, G.H.; GAUDÊNCIO, C.A. & OLIVEIRA, M.C.N. Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos. Londrina, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1993. 37p. (Documentos, 61)
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L., eds. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1965. p.499-510.
- KLUTE, A. & DIRKSEN, C. Hydraulic conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Part 1. 2.ed. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p.687-732.
- MAACK, R. Notas preliminares sobre clima, solos e vegetação do estado do Paraná. *Arq. Biol. Tecnol.*, 2:102-200, 1948.
- SALTON, J.C. & MIELNICZUK, J. Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um Podzólico Vermelho-Escuro de Eldorado do Sul (RS). *R. Bras. Ci. Solo*, 19:313-319, 1995.
- SEYBOLD, C.A.; HERRICK, J.E. & BREJDA, J.J. Soil resilience: a fundamental component of soil quality. *Soil Sci.*, 164:224-234, 1999.
- SIDIRAS, N.; VIEIRA, S.R. & ROTH, C.H. Determinação de algumas características físicas de um Latossolo Roxo distrófico sob plantio direto e preparo convencional. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:265-268, 1984.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:113-117, 1997.
- TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. & SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.
- VAN ES, H.M.; OGDEN, C.B.; HILL, R.L.; SCHINDELBECK, R.R. & TSEGAYE, T. Integrated assessment of space, time, and management-related variability of soil hydraulic properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1599-1608, 1999.
- VOMOCIL, J.A. & FLOCKER, W.J. Effect of soil compaction on storage and movement of soil air and water. *Trans. Am. Soc. Agric. Eng.*, 4:242-246, 1961.