

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM
LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO
EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

Falberni de Souza Costa

Lages (sc), Brasil
Fevereiro, 2001

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM
LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO
EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

FALBERNI DE SOUZA COSTA

Engenheiro Agrônomo

Dissertação apresentada como um dos requisitos
à obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo

Lages (sc), Brasil

Fevereiro, 2001

FALBERNI DE SOUZA COSTA
Engenheiro Agrônomo – UDESC

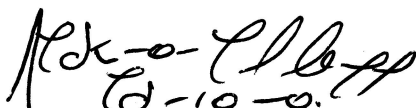
UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS - CAV
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE
UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM
EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO**

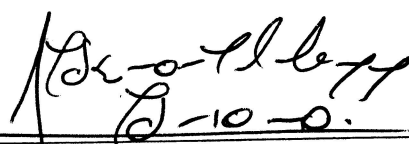
Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de
MESTRE EM CIÊNCIA DO SOLO

Aprovado em:
Pela banca examinadora

Homologado em:
Por:



JACKSON ADRIANO ALBUQUERQUE, Dr.



JACKSON ADRIANO ALBUQUERQUE, Dr.

Coordenador do Programa de Mestrado em
Agronomia, Coordenador Técnico do Curso de
Mestrado em Ciência do Solo.

CIMÉLIO BAYER, Dr.



ADEMIR MONDADORI

Diretor Geral do Centro de Ciências
Agroveterinárias.



ILDEGARDIS BERTOL, Dr.

AGRADECIMENTOS

“Aquele que é moderado nas suas palavras é douto e prudente; e o homem erudito é de espírito calmo. Até o insensato passará por sábio, se estiver calado, e por inteligente, se conservar os seus lábios fechados” (Livro dos provérbios, 17:27-28).

Ao “quase” encerrar mais uma etapa, agradeço listando a todos que auxiliaram de uma forma ou de outra:

- ✓ a Deus;
- ✓ aos meus pais Francisco e Francisca, minha esposa Cristiane, a vindoura Ana Gabriela e sua futura vó, D. Francisca;
- ✓ à minha família e da Cristiane – todos;
- ✓ ao prof. Jackson Adriano Albuquerque e família;
- ✓ aos professores do curso de Mestrado em Ciência do Solo;
- ✓ à Cooperativa Agrária Entre Rios, em nome dos pesquisadores Sandra Vieira e Celso Wobeto;
- ✓ ao irmão Cannella e família;
- ✓ aos casais amigos Fábiana e André – Luciane e Alexander - Juliane e Amauri;
- ✓ aos colegas Jane, Hátilla, Kátia, Marlise, Vanderlei, Edson Fontana, Janaína, Argenton e Márcio;
- ✓ aos contribuintes da República Federativa do Brasil – CAPES;
- ✓ Em memória: àquela que foi uma das minhas mães em Lages durante a graduação: D. Sueli, a sua crença em um mundo melhor, em todos os sentidos, está presente neste estudo. Obrigado.

PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO¹

Autor: Engenheiro Agrônomo Falberni de Souza Costa

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Cimélio Bayer

RESUMO GERAL

Sistemas de manejo podem alterar as propriedades físicas do solo e conseqüentemente a produtividade das culturas. Neste estudo avaliou-se a forma e a estabilidade da estrutura e a produtividade de culturas num Latossolo Bruno alumínico câmbico, da estação experimental da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios, em Guarapuava (PR), após vinte anos (1978-2000) sob diferentes sistemas de uso e manejo: mata nativa; plantio direto no inverno e no verão (sem calcário, com calcário aplicado em superfície e com calcário incorporado); preparo reduzido, com escarificação no inverno e plantio direto no verão (sem calcário) e; preparo convencional no inverno e verão (sem calcário e com calcário incorporado). O solo foi cultivado em rotação de culturas e as espécies utilizadas foram: soja (*Glycine max* (L.) Merrill), trigo (*Triticum aestivum* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), aveia (*Avena sativa* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). As propriedades foram avaliadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. O sistema de preparo convencional degradou a estrutura do solo, com aumento da densidade do solo em subsuperfície e redução da estabilidade de agregados (DMG), comparado à mata nativa, sobretudo na camada de 0-10 cm, bem como aumentou a temperatura superficial do solo. Após vinte anos de utilização, o sistema de plantio direto reduziu a densidade do solo em subsuperfície e a temperatura superficial do solo, aumentou a estabilidade de agregados, os teores de carbono orgânico e de cátions trocáveis, principalmente na camada superficial (0-10 cm) do solo, em comparação ao sistema de preparo convencional. A resistência do solo ao penetrômetro, a porosidade e a condutividade hidráulica saturada não foram significativamente diferentes entre os sistemas de uso e manejo do solo. A maior produtividade acumulada no sistema de plantio direto, em comparação ao sistema de preparo convencional, foi atribuída à não mobilização do solo e à manutenção de restos culturais na superfície do solo, que permitiram melhorias físicas e químicas no solo.

¹ Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Agroveterinárias, Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC, (98p.) - Fevereiro, 2001.

SOIL PHYSICAL PROPERTIES AND YIELD OF CROPS GROWN ON A BROWN LATOSOL ARE AFFECTED BY LONG DURATION SOIL MANAGEMENT SYSTEMS²

Author: Falberni de Souza Costa, B.Sc. in Agronomy

adviser: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-adviser: Dr. Cimélio Bayer

GENERAL SUMMARY

The soil management system can affect soil physical properties and, therefore, crop yield. The soil physical properties and yield of crops grown on a brown latosol aluminic cambic (Oxisol) submitted to different soil management systems over twenty years (1978-2000) were evaluated in Guarapuava, Paraná State, Brazil. The soil management systems studied were: conventional tillage, reduced tillage (with chisel plow in the winter and no-tillage in the summer), and no-tillage. In both, the conventional tillage and the no-tillage systems, the soil was limed or not, while the reduced tillage system was not limed. In the conventional tillage system lime was incorporated in the soil while in the no-tillage system lime was either incorporated in the soil or just spread on the soil surface. The soil under a virgin native forest nearby was also evaluated. The crops grown in rotation in these systems were soybean (*Glycine max* (L.) Merr.), wheat (*Triticum aestivum* L.), barley (*Hordeum vulgare* L.), vetch (*Vicia sativa* L.), corn (*Zea mays* L.), oat (*Avena sativa* L.), and radish (*Raphanus sativus* L.). The properties were evaluated in four soil layers (0-5, 5-10, 10-20 and 20-40 cm). At the layer of 10-20 cm, the conventional tillage systems increased the soil bulk density and at the superficial layer (0-5 cm) increased soil temperature and decreased the organic carbon and content and geometric mean diameter in comparison to the soil under the native forest. The conventional tillage systems showed a degradation of soil structure in their form and stability. After twenty years, the no-tillage decreased the soil bulk density (except in the 0-5 cm soil layer) and soil temperature and increase the organic carbon and exchangeable cations contents and geometric mean diameter, mainly at the superficial layer (0-10 cm), in comparison to the conventional tillage. The no-tillage presented the largest geometric mean diameter during evaluated period and the conventional the lower, mainly in the 0-10 cm soil layer. The soil resistance penetration, the soil porosity and saturated hydraulic conductivity were not different between soil management systems. The accumulated crop yield of no-tillage system were greater than the conventional tillage.

² M.Sc. Dissertation in Soils, Soil Science Department - Santa Catarina State University, Lages, SC (98p.). February, 2001.

SUMÁRIO

I - INTRODUÇÃO GERAL	1
II - ESTUDO 1: PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO FORMA DA ESTRUTURA	3
RESUMO	3
1 - Introdução	4
2 - Material e métodos	8
2.1 - Localização	8
2.2 - Solo	8
2.3 - Histórico do experimento	10
2.4 - Sistemas estudados	12
2.5 - Determinações de campo e amostragem do solo	13
2.6 - Determinações de laboratório	14
2.7 - Análise estatística e cálculo dos índices de sensibilidade	15
3 - Resultados e discussão	17
3.1 - Umidade do solo	17
3.1.1 - Umidade na coleta	17
3.1.2 - Variação temporal da umidade e armazenamento de água no solo	20
3.2 - Resistência do solo à penetração	24
3.3 - Microporosidade, macroporosidade e porosidade total	26
3.4 - Densidade do solo	27
3.5 - Condutividade hidráulica saturada	31
3.6 - Temperatura do solo	32
4 - Conclusões	34
5 - Literatura citada	35
ESTUDO 2: PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO ESTABILIDADE DA ESTRUTURA	40
RESUMO	40
1 - Introdução	41
2 - Material e métodos	46
2.1 - Coleta das amostras	46
2.2 - Determinações de laboratório	47
2.3 - Análise estatística	49
3 - Resultados e discussão	50
3.1 - Textura	50

3.2 - Mineralogia	50
3.3 - Cátions trocáveis, acidez ativa e ponto de efeito salino nulo	53
3.4 - Carbono orgânico (CO)	55
3.5 - Grau de floculação (GF)	57
3.6 - Estabilidade de agregados	59
3.7 - Sistemas de manejo do solo e a produtividade das culturas	64
4 - Conclusões	69
5 - Literatura citada	71
III - CONCLUSÕES GERAIS	77
IV - LITERATURA CITADA GERAL	79
V - ANEXOS	81
VI - APÊNDICES	93

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Carbono orgânico no solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%. NS = não significativo 19
- Figura 2. Umidade volumétrica (U_v) no solo na camada de 0-10 cm, sob sistemas de manejo. Dias 16, 20, 23, e 27 de novembro e 3 e 6 de dezembro de 2000. LB. Guarapuava, PR, 2000 20
- Figura 3. Umidade volumétrica (U_v) no solo na camada de 10-20 cm, sob sistemas de manejo. Dias 16, 20, 23, e 27 de novembro e 3 e 6 de dezembro de 2000. LB. Guarapuava, PR, 2000 21
- Figura 4. Umidade volumétrica do solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000 (média de seis repetições). Letras maiúsculas comparam sistemas dentro da mesma profundidade e minúsculas profundidades dentro do mesmo sistema. Letras iguais não diferem pelo teste Tukey a 5%. NS = não significativo 22
- Figura 5. Armazenamento médio de água no solo (0-20 cm) no período de 16/11 a 06/12/2000 sob sistemas de manejo do solo. LB. Guarapuava, PR, 2000. NS = não significativo, Tukey a 5%. 23
- Figura 6. Densidade do solo em 1986 (Eltz et al., 1989) e 2000 nas áreas sob mata nativa e PC-PC sem calcário. LB. Guarapuava, PR, 2000. 28
- Figura 7. Densidade do solo em 1986 (Eltz et al., 1989) e 2000 nas áreas sob mata nativa e PD-PD sem calcário. LB. Guarapuava, PR, 2000. 28
- Figura 8. Temperatura do solo a 5 cm de profundidade, às 9 (T₉) e 15 (T₁₅) horas sob sistemas de manejo, no período de 19 de setembro a 19 de outubro, com solo sob aveia no estágio de enchimento de grãos. LB. Guarapuava, PR. 2000. 33
- Figura 9. Difratoograma de raio X das frações areia e silte em pó. Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR. 51
- Figura 10. Difratoograma da fração argila saturada com magnésio (Mg) e magnésio mais glicerol (Mg+Gl). Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR. 52

Figura 11. Difratoograma da fração argila saturada com potássio a temperatura ambiente (25°C) e aquecimento a 110, 350 e 550°C. Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR.	53
Figura 12. Ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR.	54
Figura 13. Ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR.	55
Figura 14. Carbono orgânico no solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%. NS = não significativo	56
Figura 15. Grau de floculação de argila do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.	57
Figura 16. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. Maio de 1999. LB. Guarapuava, PR. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.	59
Figura 17. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo (0-5 e 5-10 cm) sob sistemas de manejo. Janeiro de 2000. LB. Guarapuava, PR. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.	60
Figura 18. Diâmetro médio geométrico médio (DMG) dos agregados do solo (0-10 cm) sob sistemas de manejo. Janeiro de 2000. LB. Guarapuava, PR	62
Figura 19. Produtividade de soja em 18 safras (1979-1999) nos sistemas preparo convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.	64
Figura 20. Produtividade de milho em 4 safras nos sistemas preparo convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.	65
Figura 21. Produtividade de cevada em 7 safras nos sistemas convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Bruno nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm sob mata nativa e cultivo, Guarapuava, PR. .	9
Quadro 2. Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de 1978 a 2001. Guarapuava, PR.	11
Quadro 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), umidade volumétrica atual (Uv) e condutividade hidráulica saturada (Ks) do solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000.	18
Quadro 4. Resistência do solo à penetração sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000.	24
Quadro 5. Índices de sensibilidade (IS) para densidade do solo entre os sistemas de manejo e a mata. LB. Guarapuava, PR, 2000.	30
Quadro 6. Número de safras, produtividade acumulada e média das culturas utilizadas de 1978 a 2000 nos sistemas preparo convencional sem calcário (PC-PC) e plantio direto sem calcário (PD-PD). LB. Guarapuava. PR.	66

I – INTRODUÇÃO GERAL

O cultivo do solo e sua intensidade têm reflexos físicos, químicos e biológicos variados quando se compara um solo sob exploração agrícola com a situação original, antes do início da exploração. Esses reflexos podem ser positivos ou negativos e em diferentes escalas de abrangência, dentro e fora da propriedade agrícola.

O preparo convencional, utilizado por longo período de tempo, tem causado alterações nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos e ao ambiente como um todo. A compactação, a acidificação, a redução da matéria orgânica e da atividade microbiana do solo, o aumento da erosão hídrica, o assoreamento de rios, córregos e lagoas são exemplos dessas alterações. A curto prazo, as alterações no solo devido a esse sistema de manejo são favoráveis ao crescimento das culturas (Machado & Brum, 1978), contudo, a longo prazo têm prejudicado a qualidade do solo e os resultados econômicos da agricultura (Lal & Pierce, 1991; Doran, 1997; Mielniczuk et al., 2000).

Desta forma, modificações nos sistemas de manejo do solo precisam ser implementadas, preservando assim as propriedades do solo, como forma de garantir rentabilidade ao agronegócio e proporcionar à atual e futuras gerações condições ambientais equilibradas.

O sistema de plantio direto, presente no Brasil desde o início da década de 70, com a mobilização do solo somente na linha de semeadura (Curi et al., 1993) e a manutenção dos

restos vegetais na superfície do solo após a colheita da cultura, parece ser adequado à necessidade de se alterar o mínimo possível o ambiente de cultivo dos vegetais, ou seja, o solo.

A adoção do sistema plantio direto pode acontecer em duas situações: em áreas já degradadas e naquelas “virgens”, nunca antes utilizadas para cultivo agrícola. Em ambas as situações a finalidade é, tanto quanto possível, recuperar as já degradadas e não degradar as virgens (Reinert & Eltz, 1997), principalmente quando se considera que qualquer forma de cultivar o solo altera sua condição original. Esta, sendo referenciada sempre a campo ou mata nativa (Machado & Brum, 1978; Machado et al., 1981; Carpenedo & Mielniczuk, 1990; Anjos et al., 1994).

Segundo estimativas, a área cultivada em sistema de plantio direto no Brasil nas safras de inverno e verão, excluída a área cultivada na safrinha, era de 5,5 em 1995-96 e 13,4 milhões de hectares em 1998-99 (Federação..., 2000), uma expansão que demonstra a importância do sistema.

O sistema de plantio direto, comparado ao preparo convencional, geralmente melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Muzilli, 1983; Eltz et al., 1989; Pöttker & Ben, 1998; Tormena et al., 1998). Entretanto, apesar dos benefícios do plantio direto, questões ainda carecem de melhor estudo, como por exemplo qual o comportamento das propriedades físicas, químicas e biológicas e suas inter-relações em solos sob plantio direto a longo prazo?

Neste estudo foram avaliadas a forma e a estabilidade da estrutura de um Latossolo Bruno após 20 anos sob diferentes sistemas de manejo, comparando-as à estrutura do solo sob mata nativa, e a produtividade de culturas no mesmo período.

ESTUDO 1: PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO - FORMA DA ESTRUTURA

Autor: Engenheiro Agrônomo Falberni de Souza Costa

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Cimélio Bayer

RESUMO

Sistemas de uso e manejo podem alterar as propriedades físicas relacionadas à forma da estrutura do solo. Neste estudo foi avaliada a forma da estrutura de um Latossolo Bruno alumínico câmbico, da estação experimental da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios, em Guarapuava (PR), após vinte anos (1978-2000) sob diferentes sistemas de uso e manejo: mata nativa; plantio direto no inverno e no verão (sem calcário, com calcário aplicado em superfície e com calcário incorporado); preparo reduzido, com escarificação no inverno e plantio direto no verão (sem calcário) e; preparo convencional no inverno e verão (sem calcário e com calcário incorporado). O solo foi cultivado em rotação de culturas e as espécies utilizadas foram: soja (*Glycine max* (L.) Merrill), trigo (*Triticum aestivum* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), aveia (*Avena sativa* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). As propriedades foram avaliadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. A continuação do uso do sistema de preparo convencional, após 1978, continuou degradando a forma da estrutura do solo comparado à mata nativa, observado principalmente pelo aumento da densidade do solo em subsuperfície e da temperatura superficial do solo. A adoção do sistema de plantio direto, a partir de 1978, recuperou parcialmente a forma da estrutura do solo degradada pelo preparo convencional, observado principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e da temperatura superficial do solo. A resistência do solo ao penetrômetro, a porosidade e a condutividade hidráulica saturada não diferiram significativamente entre os sistemas de uso e manejo do solo, embora os sistemas de plantio direto tenham apresentado maior microporosidade, em valor absoluto, e conseqüentemente maior umidade.

Palavras chave: Plantio direto, preparo convencional, rotação de culturas, densidade do solo, resistência do solo à penetração.

II – ESTUDO 1

PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

FORMA DA ESTRUTURA

1 - INTRODUÇÃO

Uma preocupação atual é como cultivar o solo sem degradá-lo, tendo como perspectiva a manutenção de sua capacidade de produzir alimentos. Independente do tipo de sistema de manejo adotado para produção agrícola, ocorrem alterações na física, química e biologia do solo, principalmente se para comparação é utilizada uma situação de solo nunca utilizado com cultivo, normalmente sob campo ou mata nativa.

A perda da qualidade de um solo pode ser constatada mediante análise de suas propriedades e pelo afastamento dos valores obtidos em relação aos considerados adequados, determinados e assim consagrados pelas pesquisas até o presente momento executadas em todo o mundo. Estas propriedades não são independentes. Suas inter-relações é que indicam o quanto um solo é dito de qualidade ou não (Eash et al., 1994; Doran, 1997; Karlen et al., 1997; Ketterings et al., 1997; Santana & Filho, 1998; Bolinder et al., 1999; Seybold et al., 1999).

O uso intensivo da mecanização provoca alterações na estrutura do solo, proporcionando restrições ao crescimento das plantas, decorrentes da formação de camadas

compactadas que, por sua vez, provocam redução do volume de poros, aumentando assim a densidade do solo (Machado et al., 1981).

As principais características físicas responsáveis pela porosidade e infiltração de água no solo são a textura e a estrutura de todo o perfil. A condição estrutural pode ser analisada segundo dois aspectos: avaliações de parâmetros relacionados à forma da estrutura (Albuquerque et al., 1995), como densidade do solo, condutividade hidráulica saturada e porosidade e; avaliações de parâmetros relacionados à estabilidade da estrutura (Campos et al., 1995).

A estrutura do solo pode ser avaliada pela determinação do grau de agregação, da estabilidade de agregados e da natureza do espaço de poros. As forças responsáveis pela desagregação do solo podem ser divididas em: (a) abrasão por implementos de cultivo; (b) impacto das gotas de chuva e cisalhamento pelo fluxo da água (escoamento) e (c) entrada de água nos agregados (Kemper & Chepil, 1965).

Agregados maiores e mais estáveis indicam melhoria na condição estrutural do solo. Assim, quanto maior valor do diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, melhor suas características físicas, que se refletem em aumento da permeabilidade, do armazenamento de água, do arejamento e da penetração de raízes (Machado et al., 1997). A macroporosidade aumenta com a agregação do solo e com o tamanho dos agregados (Baver & Gardner, 1972).

O manejo do solo causa alterações na sua densidade, sendo esta uma das principais propriedades físicas utilizadas para avaliar a compactação do solo (Machado et al., 1997). Machado & Brum (1978) estudando os efeitos de sistemas de cultivo em um Latossolo Roxo distrófico, verificaram que a densidade do solo aumentou provavelmente devido ao pisoteio de animais, além da diminuição dos teores de matéria orgânica, da porosidade total e macroporosidade. Segundo os mesmos autores, parecem ser evidentes os efeitos na compactação, principalmente na camada superficial do solo (0-15cm) submetido ao preparo

convencional de cultivo. As plantas encontram dificuldades para desenvolver seu sistema radicular em solos adensados, como ocorre nos cultivos com preparo convencional, visto que elas são semeadas em região de baixa densidade do solo (primeiros centímetros superficiais revolvidos), encontrando uma camada mais densa ao aprofundar suas raízes (Sidiras et al., 1984).

O aumento do nível de compactação do solo acarreta aumento dos microporos e principalmente diminuição dos macroporos, determinando queda na condutividade hidráulica saturada, o que deve estar relacionado à diminuição dos macroporos (Scopel et al., 1978; Silva et al., 1986; Albuquerque et al., 1999).

Sobre as alterações na forma da estrutura, existem resultados de pesquisas realizadas em diferentes locais, classes de solo e tempos de condução do experimento. Isso explica, em parte, a ausência de concordância quando se estuda a densidade, a porosidade e a resistência do solo à penetração, principalmente contrastando o preparo convencional e o plantio direto (Machado & Brum, 1978; Abrão et al., 1979; Centurion et al., 1985; Eltz et al., 1989; Hill, 1990; Albuquerque et al., 1995; Da Ros et al., 1996; Doran, 1997; De Maria et al., 1999; Bertol et al., 2000). Contudo, há consenso de que o plantio direto aumenta a retenção de água, a condutividade hidráulica saturada e reduz a amplitude térmica do solo (Benatti Jr. et al., 1984; Sidiras et al., 1984; Centurion et al., 1985; Salton & Mielniczuk, 1995; Argenton, 2000).

O objetivo deste estudo foi avaliar propriedades físicas relacionadas à forma da estrutura de um Latossolo Bruno após 20 anos sob diferentes sistemas de manejo, em comparação a uma área sob mata nativa. As hipóteses formuladas foram:

1. O sistema de preparo convencional utilizado por longo período degrada a estrutura do solo, comparado à mata nativa, devido a modificações nas propriedades relacionadas à sua

forma, observado pelo aumento da densidade do solo, da resistência à penetração e da temperatura do solo e pela redução da porosidade e condutividade hidráulica saturada;

2. O sistema de plantio direto utilizado por longo período recupera as propriedades físicas relacionadas à forma da estrutura do solo degradada pelo preparo convencional, observado pela redução da densidade do solo, da resistência do solo ao penetrômetro e da temperatura do solo e aumento da porosidade e condutividade hidráulica saturada.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

2.1 – Localização geográfica e caracterização climática

O experimento está localizado no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., em Guarapuava, Paraná (Anexo 1), no terceiro planalto paranaense, a 1.100 m de altitude. A precipitação média anual é de 2.022 mm, com amplitude de 104,7 mm em agosto a 214,9 mm em outubro nas médias mensais (Anexo 2), o clima, Cfb na classificação de Köeppen, é subtropical úmido, sem estação seca durante o ano e com geadas frequentes e severas. O solo é representativo para os 60.000 ha de exploração agrícola da Cooperativa e para toda as regiões de condições edafoclimáticas semelhantes (Jaster et al., 1993).

2.2 – Solo

A maioria dos solos da região de Guarapuava pertence à classe Latossolo Bruno aluminico típico, com relevo suave ondulado, perfil profundo, com horizonte A proeminente, textura argilosa, com baixa saturação de bases e alto teor de alumínio trocável (Embrapa, 1999). Em relevo mais ondulado ou nas encostas de vertentes curtas, ocorrem variações e inclusões de outras classes de solo com perfis mais rasos e/ou com granulometria

mais grosseira (pedregosa), como também a associação do Latossolo Bruno com Cambissolo, todos formados a partir de rochas oriundas de derrame basáltico (Jaster et al., 1993).

A área do experimento estende-se por 430 m ao longo da encosta de uma elevação, com declive para dois lados (Sul e Oeste) e uma ligeira depressão no centro. Nas posições mais altas e planas, o solo é profundo (horizonte A > 60 cm) e nas de maior declividade encontra-se solo raso, com horizonte A de espessura menor e variável, com camadas de cascalho a 40 cm de profundidade (Jaster et al., 1993). No anexo 3 é apresentado o croqui de localização dos sistemas de manejo do solo na área experimental.

O solo da área experimental é um Latossolo Bruno alumínico câmbico – LB, com horizonte A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado e substrato basalto (Embrapa, 1999), com declividade média de 0,05 m m⁻¹. No quadro 1 é apresentada a caracterização química e física do solo quando da coleta das amostras, em maio de 1999.

Quadro 1. Caracterização química e granulométrica do Latossolo Bruno nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm sob mata nativa e cultivo, Guarapuava, PR.

Prof. Cm	Ca	Mg	K	Al	pH _{água}	CO	Argila	Silte	Areia	
	----- cmol _c kg ⁻¹ -----					----- g kg ⁻¹ -----				
	Mata nativa ¹									
0-5	4,4	1,9	0,40	1,8	4,8	48	670	262	67	
5-10	1,1	0,7	0,20	2,7	4,8	34	606	311	82	
10-20	0,6	0,4	0,16	3,4	4,8	29	695	225	81	
20-40	0,2	0,2	0,16	3,4	4,7	30	633	256	111	
	Solo cultivado ²									
0-5	3,3	0,8	0,54	0,8	5,1	42	577	358	65	
5-10	2,5	0,5	0,37	1,1	5,1	38	562	374	64	
10-20	2,3	0,5	0,30	1,0	5,2	35	630	309	62	
20-40	1,5	0,4	0,23	0,8	5,3	29	690	253	57	

¹ Média de três repetições

² Média de seis sistemas de manejo do solo e três repetições.

2.3 – Histórico do experimento

O solo, originalmente com campo nativo utilizado no sistema tradicional de pastejo extensivo, foi arado pela primeira vez em 1950 e cultivado com arroz e trigo no sistema de preparo convencional até 1962. De 1962 até 1968 foi utilizado com pastagem melhorada (trevo branco e gramíneas de inverno) para o gado leiteiro. De 1968 a 1977 foi novamente cultivado no sistema de preparo convencional com trigo e soja. No inverno de 1978 o solo foi corrigido com a incorporação de $1,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário e $0,3 \text{ t ha}^{-1}$ de Escória de Thomas e no verão foi semeada soja como a primeira cultura do experimento, cujo objetivo inicial era comparar propriedades químicas do solo e rendimento de culturas em diferentes sistemas de preparo do solo. Os sistemas foram combinados nas safras de inverno e verão, descritos como segue: plantio direto no inverno e no verão (PD-PD); escarificação no inverno e plantio direto no verão (ESC-PD); plantio direto no inverno e preparo convencional no verão (PD-PC); preparo convencional no inverno e plantio direto no verão (PC-PD) e preparo convencional no inverno e verão (PC-PC). As parcelas mediam $12 \times 100 \text{ m}$ e o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com três repetições (Jaster et al., 1993).

Em 1987, as parcelas de cada sistema de preparo foram divididas em três subparcelas, de $12 \times 30 \text{ m}$, para estudar modos de aplicação de calcário: testemunha sem calagem, calcário aplicado na superfície (sem incorporação) e calcário incorporado com aração. A dose utilizada foi de $4,5 \text{ t ha}^{-1}$ de calcário calcítico. Em 1995 foi reaplicado calcário dolomítico (3 t ha^{-1}), seguindo o mesmo procedimento anteriormente citado (Quadro 2).

Após a colheita de cada cultura, a sua palhada era distribuída na superfície do solo, com ou sem incorporação, conforme o sistema de manejo.

Eltz et al. (1989), no inverno de 1986, avaliaram neste experimento os efeitos dos sistemas de preparo sobre algumas propriedades físicas e químicas do solo. Desta forma, os resultados de densidade do solo referentes a seis anos e meio de cultivo com rotação

soja-trigo-soja-cevada e um ano com adubação verde com ervilhaca comum e milho, foram comparados com os resultados obtidos em 2000. O princípio físico igual (massa de solo seco por unidade de volume) possibilitou a comparação entre os dois estudos. Vale ressaltar que Eltz et al. (1989) determinaram a densidade do solo com cilindro de Uhland, descrito por Forsythe (1975), enquanto neste estudo foi utilizado o método recomendado por Blake & Hartge (1986), como será visto mais adiante.

Quadro 2. Culturas e doses de calcário utilizadas no experimento de 1978 a 2001. Guarapuava – PR.

Ano agrícola	Cultivo		Dose de calcário aplicada (t ha ⁻¹)
	Inverno	Verão	
1978-79	-	soja	1,5
79-80	trigo	soja	
80-81	cevada	soja	4,5
81-82	trigo	soja	
82-83	cevada	soja	
83-84	trigo	soja	
84-85	cevada	soja	
85-86	ervilhaca	milho	
86-87	aveia	soja	
87-88	trigo	soja	
88-89	cevada	soja	
89-90	trigo	soja	
90-91	cevada	soja	3,0
91-92	ervilhaca	milho	
92-93	aveia	soja	
93-94	cevada	soja	
94-95	trigo	soja	
95-96	nabo forrageiro	milho	
96-97	aveia	soja	
97-98	trigo	soja	
98-99	cevada	soja	
99-2000	nabo forrageiro	milho	
2000-2001	aveia	soja	

2.4 – Sistemas estudados

Neste estudo foram analisados dois sistemas de uso: mata nativa e cultivos anuais. Os cultivos anuais consistiram de seis sistemas de manejo do solo, em quatro camadas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm), como segue:

- 1) Mata nativa;
- 2) Plantio direto no inverno e verão, sem calcário (PD-PD sem);
- 3) Plantio direto no inverno e verão, com calcário superficial (PD-PD sup);
- 4) Plantio direto no inverno e verão, com calcário incorporado (PD-PD inc);
- 5) Escarificação no inverno e plantio direto no verão, sem calcário (ESC-PD sem);
- 6) Preparo convencional no inverno e verão, sem calcário (PC-PC sem) e
- 7) Preparo convencional no inverno e verão, com calcário incorporado (PC-PC inc).

No sistema de preparo convencional, o solo foi arado e gradeado todos os anos antes da semeadura de cada cultura. No sistema de plantio direto, sem revolvimento do solo, foi utilizada uma semeadora/adubadora adaptada com um disco cortador.

A mata nativa, ora denominada sistema de uso do solo, está localizada próxima à área experimental. O objetivo de sua inclusão neste estudo foi possibilitar a obtenção de valores das propriedades estudadas assumidos como originais, uma vez que campo nativo em condição original, como antes de 1950, não foi encontrado próximo ao experimento.

A escarificação (ESC-PD sem) visou promover o afrouxamento do solo e a incorporação parcial dos restos da cultura anterior. A distância entre as hastes do escarificador utilizado foi de 30 cm, sendo a profundidade de trabalho de 25 a 30 cm, com duas passagens de grade niveladora de disco após cada escarificação, realizada pelo menos um mês antes da semeadura.

Nos sistemas de manejo, todas as operações foram realizadas com equipamentos utilizados em lavouras comerciais, obedecendo-se os mesmos critérios destas, para o uso de tratamentos fitossanitários, épocas de semeadura e colheita.

Para efeito de comparação conjunta e melhor entendimento das explicações, em algumas situações os sistemas 2, 3, 4 e 5 foram tratados como sistemas conservacionistas e os sistemas 6 e 7 como preparos convencionais.

2.5 – Determinações de campo e amostragem do solo

Em janeiro de 2000, nas entrelinhas da cultura do milho, foram abertas trincheiras com dimensões aproximadas de 0,50x0,50x0,50 m para coleta das amostras do solo com estrutura preservada, utilizando-se anéis metálicos com 54 mm de altura e 50 mm de diâmetro interno. As amostras foram coletadas em duplicata e no centro de cada camada, sendo acondicionadas em latas de alumínio, borrifadas com inseticida organofosforado e lacradas com fita adesiva. O inseticida evitou que organismos do solo alterassem a estrutura da amostra até o momento das análises, realizadas no laboratório de solos do Centro de Ciências Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

Antes da coleta das amostras do solo em anéis, a resistência do solo ao penetrômetro foi determinada com penetrômetro de bolso, segundo Bradford (1986). Foram realizadas quatro leituras em cada camada.

A temperatura do solo foi determinada a 5 cm de profundidade em apenas uma repetição por sistema (Jackson & Taylor, 1986), utilizando-se geo-termômetros, com precisão de 0,2°C. A determinação, com leituras às 9 e 15 horas, foi realizada de 19 de setembro a 19 de outubro de 2000, com exceção da mata. O solo estava sendo cultivado com aveia branca, estágio de enchimento de grãos. No anexo 4 são apresentadas a temperatura do ar (mínima e

máxima), o número de horas de insolação e a precipitação nos dias das determinações de temperatura do solo.

As amostras para determinação da umidade do solo foram coletadas em duas épocas. A primeira época foi a da coleta das amostras indeformadas e nas mesmas profundidades, sendo portanto uma amostra pontual no tempo. A segunda coleta foi realizada nos dias 16, 20, 23 e 27 de novembro e 03 e 06 de dezembro de 2000, com intervalos portanto de 3 a 6 dias em função da precipitação do período e teve por objetivo verificar a variação temporal da umidade e armazenamento de água do solo nos sistemas de manejo e uso do solo. As amostras foram coletadas com três repetições, nas camadas de 0-10 e 10-20 cm. Após cada coleta, as amostras foram secas em estufa a 105°C por 24 horas, calculando-se em seguida a umidade gravimétrica. Pelo produto desta pela densidade do solo foi calculada a umidade volumétrica. O cálculo do armazenamento de água nos sistemas de manejo foi efetuado considerando a espessura de cada camada, obtendo-se, desta forma, o armazenamento de água nas camadas de 0-10 e 10-20 cm e o armazenamento total na camada de 0-20 cm pelo somatório do armazenamento nas camadas. Todo o procedimento laboratorial foi executado na FAPA. No anexo 5 são apresentadas a temperatura do ar (mínima e máxima), umidade relativa do ar e precipitação no período de coleta das amostras.

2.6 – Determinações de laboratório

A macro e microporosidade foram determinadas pelo método da mesa de tensão (Embrapa, 1997), com sucção de 0,6 m de coluna de água; a condutividade hidráulica saturada foi determinada pelo método do permeâmetro de carga constante, segundo Klute & Dirksen (1986); a densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico (Blake & Hartge, 1986), após realizadas todas as outras determinações; e a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997).

A porosidade total – PT ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) foi calculada pela seguinte fórmula:

$$PT = 1 - \left(\frac{D_s}{D_p} \right)$$

onde: D_s (g cm^{-3}) é a densidade do solo e D_p (g cm^{-3}) a densidade de partícula.

2.7 – Análise estatística e cálculo dos índices de sensibilidade

A significância dos efeitos dos sistemas sobre as propriedades avaliadas, exceto para a temperatura do solo, foi feita pela análise de variância por camada, segundo o delineamento de blocos casualizados, com três repetições. A diferença entre médias foi avaliada pelo teste de Tukey ao nível de 5 %. Em alguns casos, foi realizada ainda análise estatística dentro de cada sistema, comparando-se as camadas entre si.

Amostras indeformadas não foram coletadas no terceiro bloco do sistema de preparo convencional no inverno e no verão sem calcário (PC-PC sem) (Anexo 3), devido à presença de cascalho em todas as camadas, o que também impediu a determinação da resistência do solo à penetração na camada de 20-40 cm. Desta forma, os valores de macro e microporosidade, condutividade hidráulica saturada, densidade do solo e resistência do solo à penetração foram estimados segundo Banzatto & Kronka (1995) para o caso de parcela perdida.

Para avaliar a magnitude do efeito dos sistemas de manejo sobre a densidade do solo, em relação à mata, foi determinado o “índice de sensibilidade” (Bolinder et al., 1999), que utiliza o conceito de comparação relativa e é calculado pela seguinte fórmula:

$$IS = \frac{(a_i)_t}{(a_i)_c}$$

onde: IS é o índice de sensibilidade, a_i é a propriedade do solo considerada, t é o sistema de manejo e c é o sistema controle ou situação original, ou seja, a mata nativa.

Estudo de correlação simples para a densidade do solo, resistência do solo à penetração e condutividade hidráulica saturada foi realizado (SAS, 1990), sendo o valor do coeficiente de correlação o critério utilizado para a seleção das melhores correlações.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Umidade do solo

3.1.1 – Umidade na coleta

A capacidade de retenção de água de um solo é função de suas propriedades físicas. Naturalmente, os solos argilosos têm maior capacidade de retenção de água do que os arenosos. A quantidade de água necessária para envolver as partículas de determinado solo é em função de sua superfície específica, sendo inversamente proporcional ao diâmetro das partículas (Kiehl, 1979).

A umidade volumétrica na mata e nos preparos convencionais (Quadro 3) foi menor do que nos sistemas conservacionistas, principalmente na camada de 5-10 cm. Para a mata, este comportamento pode ser explicado, em parte, pela sua maior macroporosidade nas camadas de 10-20 e 20-40 cm em relação aos demais sistemas, embora não tenha ocorrido diferença significativa entre os sistemas nessas camadas (Quadro 3). Também, o dossel e sua transpiração impedem que toda água precipitada alcance o solo. A macroporosidade contínua é responsável pelo chamado fluxo preferencial (Buoma, 1991), que determina rápida passagem da água no solo, sendo função da quantidade e intensidade da chuva, da textura do solo, micro-relevo e conteúdo de água da superfície do solo. Adicionalmente, a possível presença de substâncias orgânicas com caráter hidrofóbico pode estar relacionada à menor

umidade na mata nativa (Pérez et al., 1998). Essas substâncias, recobrando as partículas do solo, imprimem ao solo caráter de repelência à água, podendo aumentar o fluxo preferencial de água no solo, bem como contribuir para manutenção da estabilidade dos agregados.

Quadro 3. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro), umidade volumétrica atual (Uv) e condutividade hidráulica saturada (Ks) do solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000.

Prof. Cm	Ds Mg m ⁻³	PT ----- m ³ m ⁻³ -----	Micro	Macro	Uv	Ks cm h ⁻¹
Mata						
0-5	A 0,89 a	A 0,64 a	A 0,44 a	A 0,20 a	A 0,34 a	A 13,3 a
5-10	A 0,93 a	A 0,63 a	AB 0,46 a	AB 0,17 a	C 0,37 a	A 3,5 a
10-20	ABC 0,93 a	AB 0,63 a	AB 0,46 a	A 0,17 a	B 0,37 a	A 3,4 a
20-40	A 0,93 a	A 0,66 a	A 0,45 a	A 0,21 a	B 0,38 a	A 2,5 a
PD-PD sem						
0-5	A 1,03 a	A 0,60 a	A 0,45 a	A 0,15 a	A 0,40 b	A 4,4 a
5-10	A 1,00 ab	A 0,61 a	AB 0,45 a	AB 0,16 a	ABC 0,41 ab	A 4,4 a
10-20	ABC 0,99 ab	A 0,62 a	AB 0,47 a	A 0,15 a	A 0,43 ab	A 11,3 a
20-40	A 0,88 b	A 0,66 a	A 0,48 a	A 0,18 a	A 0,45 a	A 11,2 a
PD-PD sup						
0-5	A 1,01 a	A 0,62 b	A 0,46 a	A 0,16 ab	A 0,41 a	A 23,1 a
5-10	A 1,00 a	A 0,61 b	A 0,47 a	AB 0,14 b	AB 0,44 a	A 4,9 a
10-20	BC 0,90 b	A 0,64 ab	A 0,49 a	A 0,15 ab	A 0,46 a	A 2,5 a
20-40	A 0,86 b	A 0,67 a	A 0,49 a	A 0,18 a	A 0,46 a	A 4,0 a
PD-PD inc						
0-5	A 0,98 a	A 0,62 a	A 0,46 a	A 0,16 a	A 0,41 b	A 4,6 a
5-10	A 0,96 ab	A 0,63 a	A 0,48 a	AB 0,15 a	AB 0,44 ab	A 8,6 a
10-20	BC 0,88 bc	AB 0,64 a	A 0,49 a	A 0,15 a	A 0,45 a	A 7,8 a
20-40	A 0,84 c	A 0,67 a	A 0,50 a	A 0,17 a	A 0,46 a	A 1,5 a
ESC-PD sem						
0-5	A 0,97 ab	A 0,60 b	A 0,45 b	A 0,15 a	A 0,37 b	A 4,7 a
5-10	A 1,00 a	A 0,61 b	A 0,48 ab	B 0,13 a	A 0,45 a	A 3,6 a
10-20	BC 0,89 ab	A 0,65 ab	A 0,49 a	A 0,16 a	A 0,46 a	A 4,6 a
20-40	A 0,84 b	A 0,68 a	A 0,49 a	A 0,19 a	A 0,46 a	A 6,4 a
PC-PC sem						
0-5	A 0,99 ab	A 0,64 a	A 0,43 b	A 0,21 a	A 0,35 c	A 8,9 a
5-10	A 1,02 ab	A 0,61 a	B 0,42 b	AB 0,19 a	C 0,38 bc	A 13,4 a
10-20	A 1,08 a	B 0,59 a	AB 0,46 b	A 0,13 b	AB 0,42 b	A 1,6 a
20-40	A 0,94 b	A 0,64 a	A 0,50 a	A 0,14 b	A 0,47 a	A 2,4 a
PC-PC inc						
0-5	A 1,00 a	A 0,62 ab	A 0,42 b	A 0,20 a	A 0,36 c	A 11,0 a
5-10	A 0,96 ab	A 0,64 ab	B 0,43 b	A 0,21 a	C 0,38 bc	A 15,1 a
10-20	AB 1,04 a	AB 0,60 b	B 0,45 b	A 0,15 a	AB 0,42 ab	A 4,1 a
20-40	A 0,88 b	A 0,67 a	A 0,50 a	A 0,17 a	A 0,47 a	A 3,1 a

Letras maiúsculas comparam sistemas dentro da mesma camada e minúsculas camadas dentro do mesmo sistema. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Em relação aos preparos convencionais, principalmente na camada de 5-10 cm, a menor umidade volumétrica pode também ser devida à sua maior macro e menor microporosidade (Quadro 3) em relação aos sistemas de plantio direto e escarificação e também aos menores teores de carbono orgânico (Figura 1) (Salton & Mielniczuk, 1995). A maior umidade nos sistemas conservacionistas na camada de 5-10 cm pode ser atribuída à sua maior microporosidade em relação aos preparos convencionais e aos maiores teores de carbono orgânico (Figura 1). Com relação a esta propriedade (CO), embora a mata tenha sido estatisticamente igual aos PD-PD's, sua maior macroporosidade na primeira camada lhe conferiu menor umidade (Quadro 3).

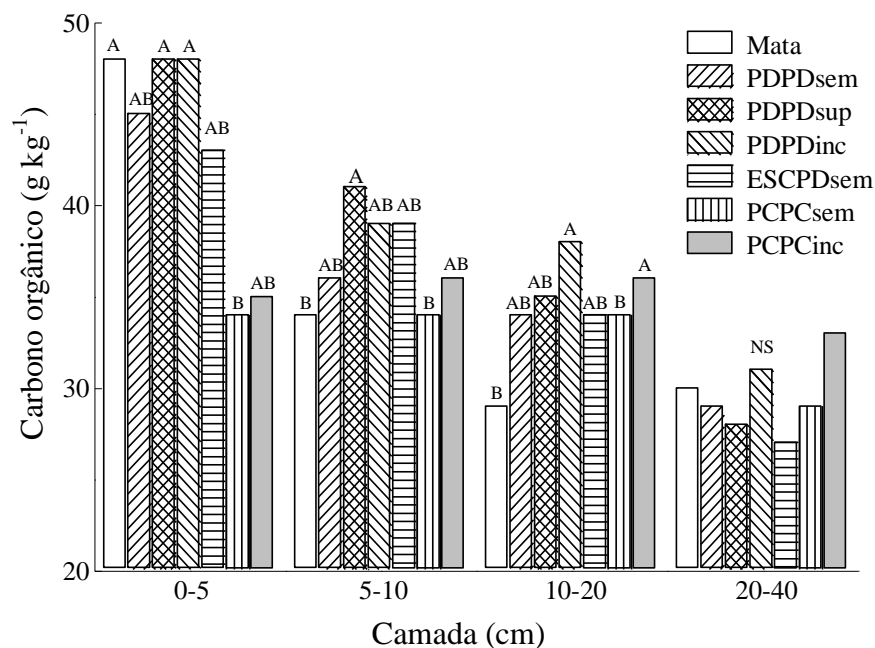


Figura 1. Carbono orgânico no solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%. NS = não significativo.

3.1.2 – Variação temporal da umidade e armazenamento de água no solo

Na camada de 0-10 cm, os sistemas conservacionistas apresentaram umidade volumétrica no período significativamente maior do que os preparos convencionais, exceto no dia 23 de novembro de 2000 (Anexo 6), principalmente em relação ao preparo convencional sem calcário (Figura 2). No dia 23, o alto coeficiente de variação (15%) pode explicar a não diferença estatística entre os sistemas (anexo 6). A maior microporosidade, em valores absolutos (Quadro 3) e maiores teores de carbono orgânico (Figura 1) podem explicar a maior umidade nos sistemas conservacionistas em relação aos preparos convencionais.

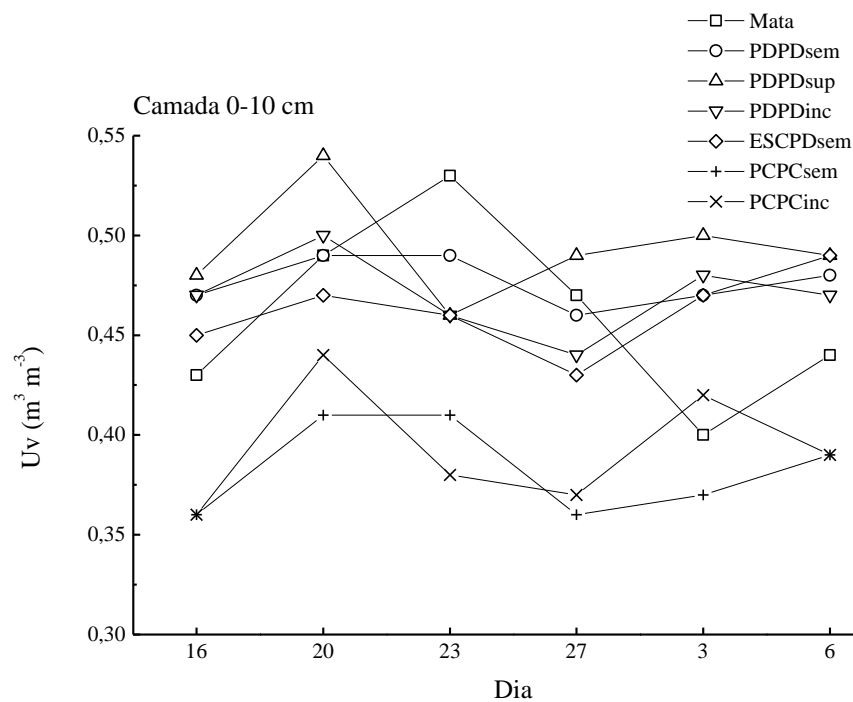


Figura 2. Umidade volumétrica (U_v) no solo na camada de 0-10 cm, sob sistemas de manejo. Dias 16, 20, 23 e 27 de novembro e 3 e 6 de dezembro de 2000. LB. Guarapuava, PR, 2000.

A mata nativa apresentou maior umidade volumétrica do que os preparos convencionais, quando houve precipitação contínua (18 a 22/11/2000). Contudo, quando a precipitação não foi contínua (23/11 a 3/12/2000), a umidade da mata nativa ficou próxima à dos preparos convencionais, o que pode ser atribuído provavelmente aos fatores anteriormente já citados (macroporosidade contínua, substâncias repelentes à água etc.).

Na camada de 10-20 cm, a umidade volumétrica, de maneira geral, não diferiu entre os sistemas conservacionistas e os preparos convencionais (Anexo 6) (Figura 3).

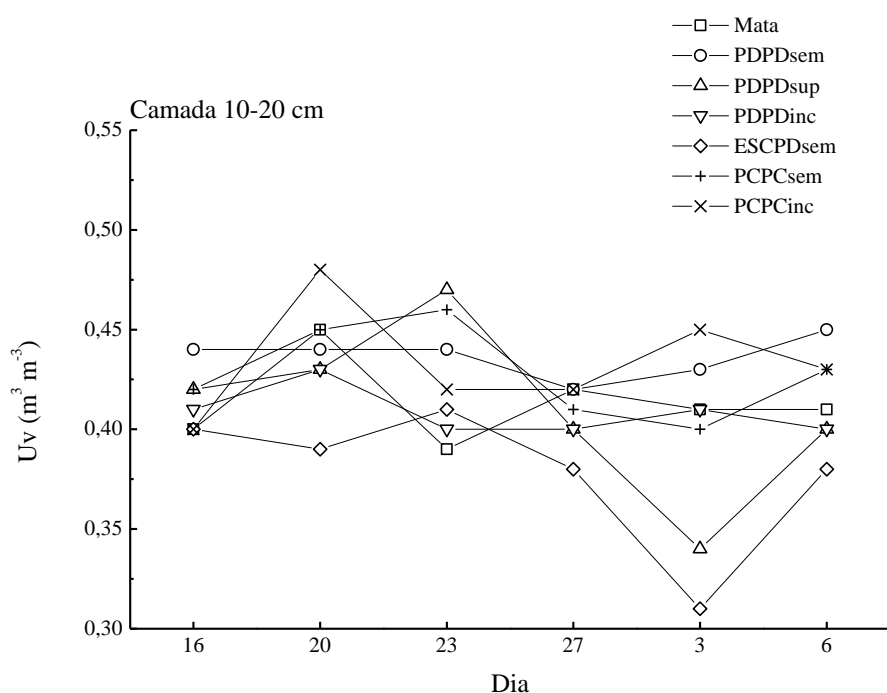


Figura 3. Umidade volumétrica (Uv) no solo na camada de 10-20 cm, sob sistemas de manejo. Dias 16, 20, 23 e 27 de novembro e 3 e 6 de dezembro de 2000. LB. Guarapuava, PR, 2000.

A umidade volumétrica, média das seis datas de coleta, na camada de 0-10 cm, foi significativamente diferente entre os sistemas PD-PD calcário superficial, ESC-PD sem calcário e PC-PC sem calcário (Figura 4), o que pode ser atribuído à maior microporosidade

(Quadro 3) e conteúdo de carbono orgânico dos primeiros sistemas (Figura 1). Na camada de 10-20 cm não houve variação significativa entre os sistemas (Figura 4). A textura e a densidade do solo influenciam a retenção de água, sendo as forças de adsorção dependentes da espessura do filme de água que envolve as partículas do solo. Desta forma, solos argilosos retêm mais água que os arenosos, sendo essa retenção ainda maior se houver incremento de densidade (compactação) e/ou de matéria orgânica (Libardi, 1995).

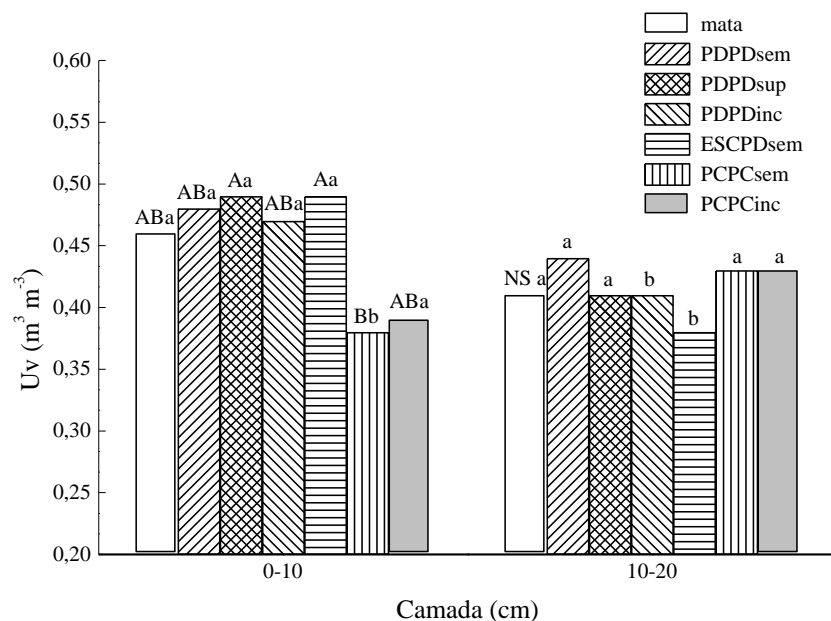


Figura 4. Umidade volumétrica do solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000 (média de seis repetições). Letras maiúsculas comparam sistemas dentro da mesma camada e minúsculas camadas dentro do mesmo sistema. Letras iguais não diferem pelo teste Tukey a 5%. NS = não significativo.

A umidade média no período foi maior no PD-PD calcário incorporado e ESC-PD sem calcário (Figura 4) na camada de 0-10 cm em relação à de 10-20 cm, provavelmente pelos seus maiores conteúdos de carbono orgânico (Figura 1). No ESC-PD sem calcário, essa diferença pode ainda ser explicada pela maior microporosidade nas camadas de 10-20 cm (Quadro 3). No PC-PC sem calcário, a umidade média foi menor na camada de 0-10 cm,

devido sua menor microporosidade e maior macroporosidade, que favorece a percolação de água e difusão de vapor d'água.

A ocorrência de chuvas entre os dias das coletas (Anexo 5) pode explicar em parte a pequena variação temporal da umidade do solo entre os sistemas, principalmente na camada de 10-20 cm (Figura 3). O período, no qual as coletas foram feitas, é historicamente o mais chuvoso na região, conforme dados climatológicos da estação meteorológica da FAPA (Anexo 2).

O armazenamento médio (seis dias de coleta) de água no período até 20 cm não diferiu estatisticamente entre os sistemas de manejo, contudo observou-se que os sistemas PD-PD sem calcário, PD-PD calcário superficial e PD-PD calcário incorporado, nos quais o solo não foi revolvido, ao menos nos últimos cinco anos, armazenaram mais água do que os demais sistemas, nos quais o solo foi revolvido ao menos uma vez ao ano, ficando a mata em posição intermediária (Figura 5).

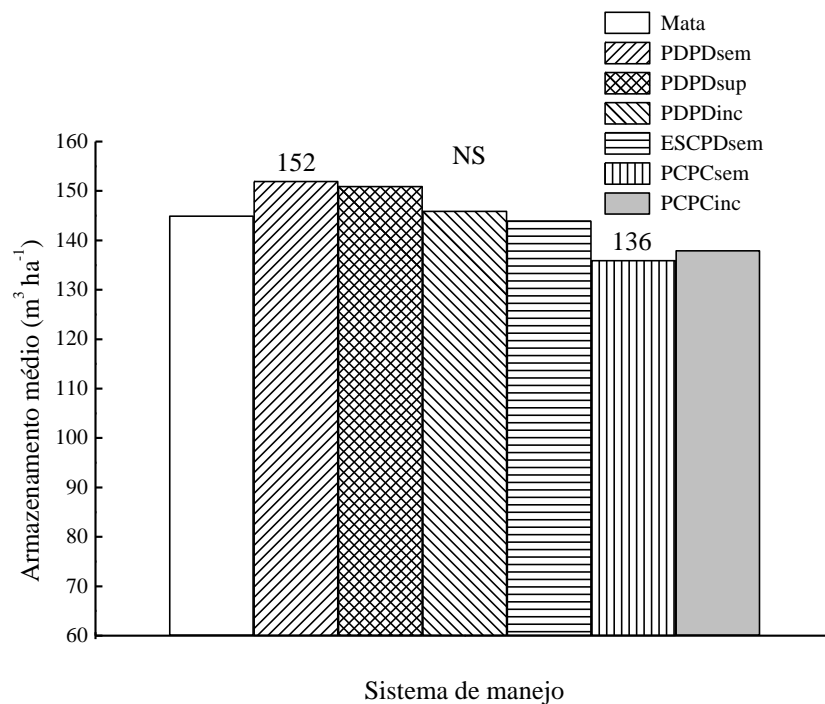


Figura 5. Armazenamento médio de água no solo (0-20 cm) no período de 16/11 a 06/12/2000 sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000. NS = não significativo, Tukey a 5%.

A diferença entre o sistema com maior umidade (PD-PD sem calcário) e o com menor umidade (PC-PC sem calcário) foi de 16 m³/ha. Deve-se ressaltar que, em solos com textura argilosa como a deste estudo, maior armazenamento pode não representar maior disponibilidade de água extraível pelas raízes das plantas (Fiorin et al., 1997; Carlesso & Santos, 1999).

3.2 - Resistência do solo ao penetrômetro

A resistência do solo à penetração (Quadro 4) não diferiu estatisticamente entre os sistemas de manejo do solo em todas as camadas, o que pode ser atribuído, em parte, ao alto coeficiente de variação dessa propriedade, de 42 a 67% (Anexo 8). Contudo, observou-se nos sistemas de plantio direto resistência do solo à penetração próxima a 2,5 kg cm⁻² na camada de 5-10 cm, indicando a possível presença de camada compactada, o que não foi comprovado pelos resultados de densidade (Quadro 3). A umidade volumétrica do solo nesta camada diferiu estatisticamente entre os sistemas, com os sistemas conservacionistas apresentando os maiores valores (Quadro 3).

Quadro 4. Resistência do solo à penetração sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR, 2000.

Sistema	Camada			
	0-5cm	5-10cm	10-20cm	20-40cm
	Resistência à penetração (kg cm ⁻²)			
Mata	A 0,54 a	A 1,56 a	A 1,15 a	A 1,15 a
PD-PD sem	A 0,96 a	A 2,04 a	A 1,60 a	A 1,69 a
PD-PD sup	A 1,46 a	A 2,42 a	A 2,06 a	A 1,35 a
PD-PD inc	A 1,92 ab	A 2,54 a	A 1,96 ab	A 0,90 b
Esc-PD sem	A 0,50 a	A 1,08 a	A 1,27 a	A 1,04 a
PC-PC sem	A 0,52 a	A 1,19 a	A 1,44 a	A 1,49 a
PC-PC inc	A 0,29 a	A 1,08 a	A 0,83 a	A 1,25 a

Letras maiúsculas comparam sistemas dentro da mesma camada e minúsculas camadas dentro do mesmo sistema. Letras iguais não diferem pelo teste Tukey a 5%.

Segundo Glinski & Lipiec (1990) o crescimento radicular pode ser reduzido por vários fatores, como o aumento da resistência mecânica, redução da aeração e excesso de umidade ou estresse hídrico, que podem ocorrer simultaneamente, tornando difícil distinguir entre seus efeitos. Geralmente os valores de resistência do solo à penetração estão associados aos teores de água no solo no momento da leitura, entre outros fatores como porosidade, densidade, textura, pressão de camadas subjacentes, grau de confinamento do local ou camada de leitura, bioporos, tamanho de agregados etc. (Bennie, 1991). Segundo Carpenedo (1994), estudando um Latossolo, textura argilosa, e dois Podzólicos, textura arenosa, do Rio Grande do Sul, verificou os valores dos parâmetros de cisalhamento foram maiores para o Latossolo, o que foi atribuído ao teor de argila e a presença de óxidos. Os Podzólicos apresentaram menor coesão inter-agregados. Segundo o mesmo pesquisador, as forças que geram a resistência do solo são provenientes de relações físico-químicas dependentes da capacidade de troca de cátions (CTC), cargas dos íons em solução, tensão da água e o grau de deformação plástica a que o solo foi submetido. Desta forma, a maior resistência do solo à penetração na camada de 5-10 cm pode estar relacionada à maior coesão do solo, tanto inter como intra-agregados. De outro modo, a menor resistência à penetração dos preparos convencionais e ESC-PD nas camadas 0-5, 5-10 e 10-20 cm pode ser devida à mobilização do solo que antecede a semeadura nesses sistemas, inverno e verão nos preparos convencionais e inverno no ESC-PD sem calcário.

A resistência do solo à penetração correlacionou-se de forma significativa e negativamente com a macroporosidade ($r = -0,30$, $P < 0,005$) e positivamente com a microporosidade ($r = 0,32$, $P < 0,0035$).

3.3 – Microporosidade, macroporosidade e porosidade total

A microporosidade variou de 0,42 a 0,50 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, sendo estatisticamente menor nos preparos convencionais na camada de 5-10cm e no PC-PC calcário incorporado na camada de 10-20 cm (Quadro 3), sendo igual nos demais sistemas e camadas. Isto pode ser devido à mobilização do solo com aumento dos macroporos de 0,13 a 0,16 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ nos sistemas conservacionistas para 0,19 a 0,21 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ nos preparos convencionais, com conseqüente redução dos microporos, principalmente até 10 cm de profundidade.

O PC-PC calcário incorporado apresentou a maior (0,21 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e o ESC-PD sem calcário a menor (0,13 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) macroporosidade na camada de 5 a 10 cm (Quadro 3). Nas outras camadas não se observou diferenças significativas. Em todos os sistemas e camadas, a macroporosidade ou porosidade de aeração foi superior ao mínimo considerado restritivo ao desenvolvimento radicular (0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) (Vomocil & Flocker, 1966) em todos os sistemas e camadas, embora esse valor limite dependa do tipo de planta e do nível de atividade biológica do solo (Gupta et al., 1989) e o fornecimento de oxigênio às raízes seja função da profundidade, tortuosidade, continuidade e distância entre poros ocupados com ar (Dexter, 1988).

A baixa macroporosidade no PC-PC sem calcário (0,13 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) na camada de 10-20cm refletiu na sua porosidade total (0,59 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$), tornando-a significativamente menor que os demais sistemas na mesma camada.

A porosidade total variou de 0,59 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no PC-PC sem calcário na camada de 10-20 cm, a 0,68 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ no ESC-PD sem calcário na camada de 20-40 cm.

3.4 – Densidade do solo

A densidade do solo diferiu significativamente entre os sistemas somente na camada de 10-20 cm, com o PC-PC sem calcário apresentando o maior valor ($1,08 \text{ Mg m}^{-3}$) em relação aos sistemas conservacionistas. Contudo, esta densidade não caracteriza a presença de camada compactada (Quadro 3).

O menor valor de densidade do solo ($0,84 \text{ Mg m}^{-3}$) foi observado nos sistemas PD-PD calcário incorporado e ESC-PD sem calcário, na camada de 20-40 cm. Eltz et al. (1989) obtiveram resultados semelhantes para essa camada e como os valores entre os sistemas eram uniformes naquele estudo, a explicação foi que a maior densidade era proveniente do uso anterior desse solo, na época com trinta anos de preparo convencional antecedendo a instalação do experimento em maio de 1980.

A densidade do solo no PC-PC foi maior em 2000 do que em 1989 (Figura 6), com exceção da camada de 20-40 cm (profundidade média de 30 cm), demonstrando que, embora medidas atenuadoras do processo de degradação física do solo tenham sido tomadas (rotação de culturas, manutenção dos resíduos das culturas no solo etc.), a degradação continua. As taxas anuais de acréscimo da densidade do solo entre 1950 e 1986 ($0,003 \text{ Mg m}^{-3}$) e entre 1986 e 2000 ($0,004 \text{ Mg m}^{-3}$), confirmam essa observação.

A densidade do solo na camada de 10-20 cm (profundidade média de 15 cm) do PC-PC sem calcário aumentou 5% de 1986 (Eltz et al., 1989) até 2000 (Figura 6) (Anexo 7).

No sistema PD-PD sem calcário, foi observado redução da densidade do solo na camada de 10-20 cm (profundidade média de 15 cm) em aproximadamente 7% no período de 1986 a 2000 (Figura 7).

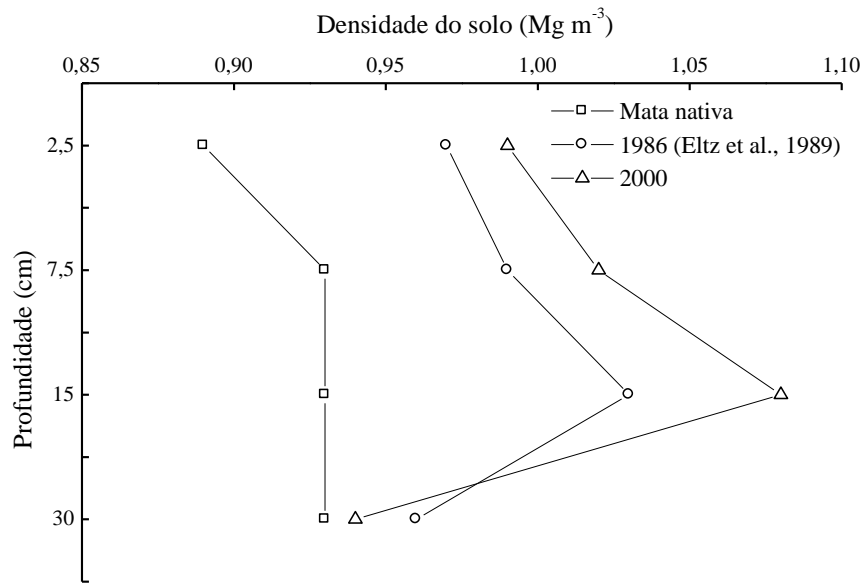


Figura 6. Densidade do solo em 1986 (Eltz et al., 1989) e 2000 nas áreas sob mata nativa e PC-PC sem calcário. LB. Guarapuava, PR, 2000.

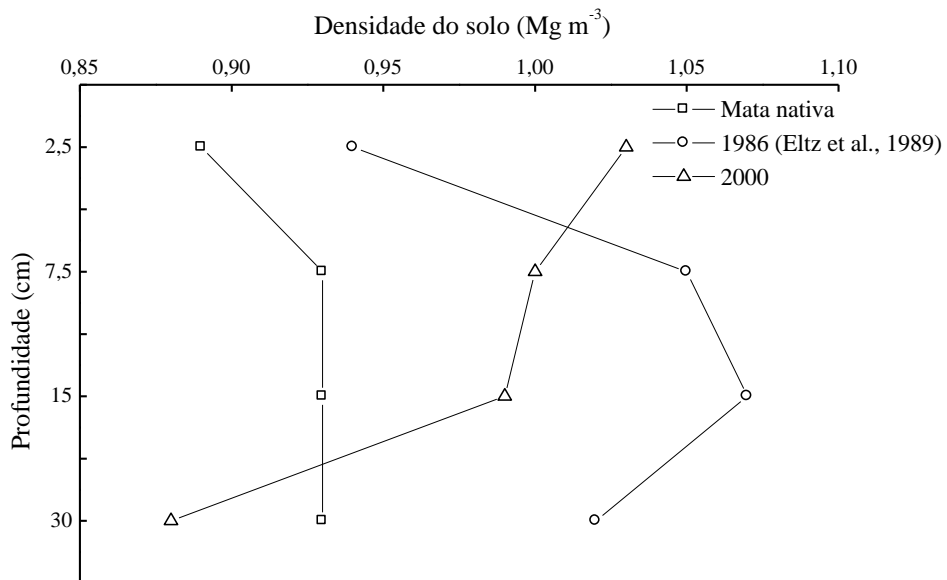


Figura 7. Densidade do solo em 1986 (Eltz et al., 1989) e 2000 nas áreas sob mata nativa e PD-PD sem calcário. LB. Guarapuava, PR, 2000.

O histórico dos cultivos e o alto aporte de restos culturais no solo ao longo desses vinte anos pode estar contribuindo para a redução da densidade do solo plantio direto, principalmente em subsuperfície, discordando em parte com alguns (Abrão et al., 1979; Fernandes et al., 1983; Hill, 1990; Bertol et al., 2000) e concordando com outros autores (Machado & Brum, 1978; Eltz et al., 1989; Anjos et al., 1994; Albuquerque et al., 1995; Da Ros et al., 1996). É importante salientar que em todos os sistemas de manejo do solo, as operações de semeadura, tratamentos fitossanitários e colheita foram realizadas utilizando os mesmos equipamentos de lavouras comerciais, obedecendo os mesmos critérios destas. Assim, pode-se afirmar que o manejo (preparo do solo, rotação de culturas etc.), a classe de solo, a profundidade e o tempo de condução de um experimento e seus resultados estão intimamente relacionados, destacando desta forma a importância dos experimentos de longa duração. Assim, considerando a proximidade dos valores de densidade do solo, na camada de 10-20 cm, é possível que os sistemas conservacionistas estejam contribuindo para amenizar a densidade do solo nesta camada. O cultivo de nabo forrageiro (invernos de 1995 e 2000) anterior ao período de coleta das amostras pode ter adicionalmente contribuído nesse processo.

Analisando a densidade do solo entre as camadas dentro de cada sistema, observou-se maior densidade nos sistemas conservacionistas nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, o que pode ser devido aos efeitos do não revolvimento do solo e tráfego de máquinas e equipamentos.

Com exceção da mata nativa, todos os sistemas apresentaram maior densidade do solo na camada superficial (0-5cm) em relação à de 20-40 cm, refletindo dessa forma a mudança que um solo pode sofrer quando é submetido ao cultivo. Parece que os sistemas não afetaram a densidade do solo abaixo dos 20 cm de profundidade.

Os índices de sensibilidade foram maiores do que a unidade, principalmente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, demonstrando o efeito prejudicial dos sistemas de manejo do solo nestas camadas. Nos preparos convencionais esta constatação foi observada até a profundidade de 20 cm, sendo que para estes sistemas os índices foram os mais altos em relação aos demais sistemas (Quadro 5).

Quadro 5. Índices de sensibilidade (IS)¹ para densidade do solo entre os sistemas de manejo e a mata. LB. Guarapuava, PR, 2000.

Sistema	Camada (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
PD-PD sem	1,16	1,08	1,06	0,95
PD-PD sup	1,13	1,08	0,97	0,92
PD-PD inc	1,10	1,03	0,95	0,90
ESC-PD sem	1,09	1,08	0,96	0,90
PC-PC sem	1,11	1,10	1,16	1,01
PC-PC inc	1,12	1,03	1,12	0,95

¹ IS = densidade nos sistemas de manejo/densidade na mata nativa (Bolinder et al., 1999).

Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, todos os sistemas de manejo causaram elevação da densidade do solo com índices diferenciados. Na camada de 0-5 cm, PD-PD sem calcário teve o maior incremento (16%) e o ESC-PD sem calcário o menor (9%). Na camada de 5-10 cm, o PC-PC sem calcário apresentou o maior incremento (10%), enquanto que os sistemas PD-PD e PC-PC, ambos com calcário incorporado, apresentaram o menor (3%). Esse aumento na densidade do solo, em função dos sistemas de manejo, pode ser atribuído ao somatório dos efeitos de todas as operações realizadas por máquinas e implementos agrícolas. Na camada de 10-20 cm, onde a densidade foi significativamente diferente entre os sistemas, a variação média entre os sistemas conservacionistas e preparos convencionais, resultaram na redução em 1% e aumento em 14% da densidade em relação à mata, respectivamente, demonstrando que, com o passar dos anos, a densidade do solo permaneceu inalterada no plantio direto, concordando com Albuquerque et al., (1995) e Eltz et al. (1989).

Os preparos conservacionistas reduziram a densidade do solo em profundidade, demonstrado pelos valores da camada de 10-20 cm. Argenton (2000), avaliando o efeito de plantas de cobertura de verão sobre alguns parâmetros relacionados à estrutura de um Latossolo Vermelho, anteriormente utilizado com preparo convencional, após cinco anos em preparos reduzido e convencional, comparando-os com mata nativa, observou que o preparo reduzido aumentou em 78 e o convencional 71% a densidade do solo entre 5 e 10 cm de profundidade, demonstrando o efeito negativo da introdução das práticas de cultivo sobre a estrutura em relação ao solo com mata.

De maneira geral, com o aumento da densidade do solo observou-se redução da microporosidade ($r = -0,43$, $P < 0,01$), da macroporosidade ($r = -0,43$, $P < 0,01$) e da umidade volumétrica ($r = -0,22$, $P < 0,05$) do solo, propriedades das quais o crescimento e desenvolvimento dos vegetais são dependentes.

3.5 – Condutividade hidráulica saturada

A condutividade hidráulica saturada variou de baixa ($1,5 \text{ cm h}^{-1}$) no PD-PD calcário incorporado a média ($23,1 \text{ cm h}^{-1}$), segundo limites propostos por Klute & Dirksen (1986), no PD-PD calcário superficial e não diferiu estatisticamente entre os sistemas de manejo do solo em todas as camadas (Quadro 3), o que pode ser atribuído ao seu alto coeficiente de variação, de 75 a 152% (Anexo 8), concordando com valores publicados na literatura (Warrick & Nielsen, 1980; Anjos et al., 1994; Tsegaye & Hill, 1998) e às fontes de variação associadas com a variabilidade espacial, temporal (fatores e processos de formação do solo) e de manejo do solo (Van Es et al., 1999).

A condutividade hidráulica saturada correlacionou-se negativamente com a microporosidade ($r = -0,53$, $P < 0,0001$) e positivamente com a macroporosidade ($r = 0,50$, $P < 0,0001$), não havendo associação significativa com as demais propriedades estudadas. No

sistema PC-PC sem calcário, devido à maior macroporosidade nas camadas de 0-5 e 5-10 cm, a condutividade hidráulica saturada foi maior em relação às camadas de 10-20 e de 20-40 cm. Bouma (1991) e Albuquerque et al. (1999) destacam a importância dos macroporos para a condutividade hidráulica saturada.

3.6 – Temperatura do solo

A temperatura e o regime térmico do solo é função da intensidade e duração da radiação solar e das condições do solo, como cultivo, cobertura superficial e teor de água (Baver et al., 1972; Hillel 1998).

A temperatura do solo entre os sistemas de manejo às nove horas foi semelhante. Contudo, às quinze horas, geralmente hora de máxima temperatura do solo (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990 a e b; Argenton, 2000), os efeitos tanto do não revolvimento do solo, quanto da manutenção dos resíduos culturais na superfície nos sistemas conservacionistas, refletiram nas menores temperaturas médias do solo em relação aos preparos convencionais (Figura 8). O PD-PD calcário superficial apresentou a menor (20,6°C) e o PC-PC sem calcário a maior temperatura média (23,4°C).

O não revolvimento do solo, permitindo maior acúmulo de carbono orgânico (Figura 1) e a microporosidade superficial, principalmente na camada de 0-5 cm podem ter sido responsáveis pela maior retenção de água nos sistemas conservacionistas (Quadro 3) (Bragagnolo & Mielniczuk, 1990 a e b). Desta forma, o efeito dos sistemas de manejo sobre a temperatura do solo se dá de forma indireta. Solos mais úmidos tendem a apresentar menor temperatura e amplitude térmica do que solos mais secos (Hillel, 1982; Prevedelo, 1996). Extremos de temperatura, principalmente no verão, quando as temperaturas são elevadas, podem limitar os processos metabólicos dos vegetais (Taiz & Zeiger, 1991).

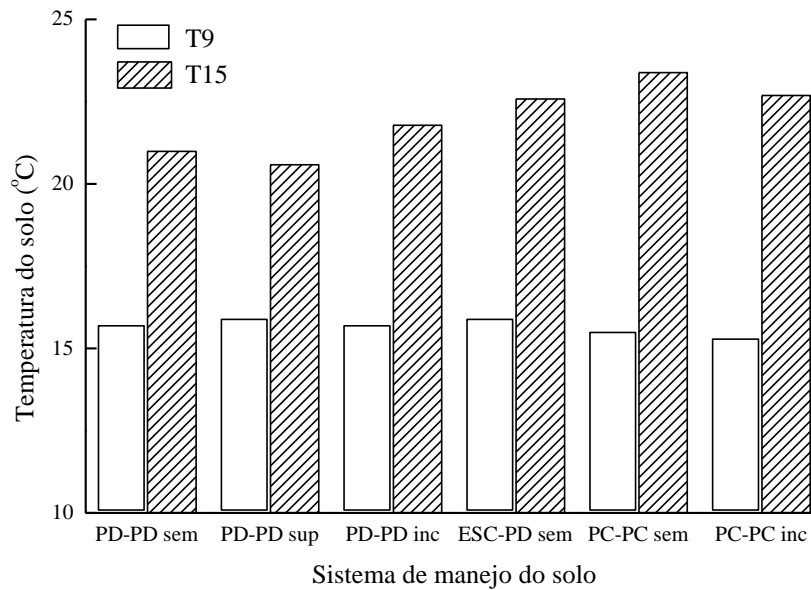


Figura 8. Temperatura do solo a 0-5 cm de profundidade, às 9 (T9) e 15 (T15) horas sob sistemas de manejo, no período de 19 de setembro a 19 de outubro, com solo sob aveia no estágio de enchimento de grãos. LB. Guarapuava, PR. 2000.

Às nove horas, os preparos convencionais apresentaram temperaturas médias do solo menores que os demais sistemas, demonstrando maior sensibilidade às variações das condições do tempo ao longo do dia (Anexo 9). Essa maior sensibilidade está relacionada à menor capacidade dos preparos convencionais de reter água, devido à incorporação dos resíduos culturais, quando do revolvimento do solo, aumentando a macroporosidade e reduzindo o carbono orgânico superficial. A água e a matéria orgânica superficial (carbono orgânico) estão diretamente envolvidos nos processos de ganho, difusão e perda de calor na superfície de um solo (Hanks, 1992).

Os preparos convencionais e o ESC-PD sem calcário apresentaram as maiores amplitudes térmicas médias do período às 15h, enquanto que os sistemas conservacionistas apresentaram as menores (Anexo 10). A amplitude térmica entre as 9 e 15 horas nos sistemas foi menor nos sistemas conservacionistas em relação aos preparos convencionais, corroborando o já exposto para o período analisado (Anexo 10).

4 – CONCLUSÕES

1. O uso contínuo do sistema de preparo convencional degradou a forma da estrutura do solo comparado à mata nativa, observado principalmente pelo aumento da densidade em subsuperfície e, de forma indireta, da temperatura superficial do solo.
2. A adoção do sistema de plantio direto, a partir de 1978, recuperou a forma da estrutura do solo degradado pelo preparo convencional, observado principalmente pela redução da densidade em subsuperfície e, de forma indireta, da temperatura superficial do solo.

Não houve diferença estatística entre os sistemas de uso e manejo do solo quanto às demais propriedades físicas do solo.

Esses resultados permitem portanto considerar que o uso dos sistemas de plantio direto minimizam o processo de degradação do solo causado pelo preparo convencional.

5 – 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.; 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.
- ALBUQUERQUE, J. A.; SANGOI, L. & ENDER, M. Modificações nas propriedades físicas do solo causadas pela interação lavoura-pecuária em dois sistemas de manejo. *REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO*, 2., 1999, LAGES, SC. Resumos da 2ª Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão. Lages: UDESC/EPAGRI. 1999. p.244-249.
- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:139-145, 1994.
- 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).
- BANZATTO, D.A. & KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. 3. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247p.
- BAVER, L. D.; GARDNER, W. H. & GARDNER, W. R. *Soil physics*. 4. ed. New York, John Wiley & Sons, 1972. 498p.
- BENATTI JR., R.; MOREIRA, C.A. & FRANÇA, G.V. Avaliação dos efeitos de sistemas de cultivo na produção de milho e nas propriedades edáficas em Latossolo Roxo no estado de São Paulo. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:139-144, 1984.
- BENNIE, A.T.P. Growth and mechanical impedance. In: WAISEL, Y.; ESHEL, A. & KAFKAFI, U. eds. *Plants roots: the hidden half*. Marcel Dekker. New York, 1991. p.393-414.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; MASSARIOL, J.M.; REIS, E.F. & DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. *Ciência Rural*, 30:91-95, 2000.
- BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk density. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375. (Agronomy, Monogr., 9).
- BOLINDER, M.A.; ANGERS, D.A.; GREGORICH, E.G. & CARTER, M.R. The response of soil quality indicators to conservation management. *Can. J. Soil Sci.*, 79:37-45, 1999.

- BRADFORD, J. M. Penetrability. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison, American Society of Agronomy, 1986. p. 463-477. (Agronomy, Monogr., 9).
- BRAGAGNOLO, N. & MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por resíduos de oito seqüências de culturas e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo, germinação e crescimento inicial do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:91-98, 1990a.
- 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, 1990b.
- BUOMA, J. Influence of soil macroporosity on environmental quality. *Adv. Agron.*, 46:1-37, 1991.
- CARLESSO, R. & SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:17-25, 1999.
- CARPENEDO, V. *Compressibilidade de solos em sistemas de manejo*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 106p. (Tese de Doutorado).
- 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.
- CENTURION, J.F.; DEMATTÊ, J.L.I. & FERNANDES, F.M. Efeitos de sistema de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. *R. Bras. Ci. Solo*, 9:267-270, 1985.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993. 90p.
- DA ROS, C.O.; LOPES, C.E.L.; SECCO, D. & PASA, L. Influência do tempo de cultivo no sistema de plantio direto nas características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro. *Ciência Rural*, 26:397-400, 1996.
- 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.
- DEXTER, A.R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, 1997. (CD-ROOM).
- 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, SSSA, 1994. p. 1-20. (Special Publication 35).
- EASH, N. S.; KARLEN, D. L. & PARKIN, T. B. Fungal contributions to soil aggregation and soil quality. In: DORAN, J. W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D. F. & STEWART, B. A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.221-228. (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. rev. atual. 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.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. *Expansão da área cultivada em plantio direto no Brasil*. 2000. Endereço eletrônico: http://www.agri.com.br/febrapdp_area_estados_96_99.htm.
- FERNANDES, B.; GALLOWAY, H.M.; BRONSON, R.D. & MANNERING, J.V. Efeito de três sistemas de preparo do solo na densidade aparente, na porosidade total e na distribuição de poros em dois solos (“Typic Argia-quoll” e “Typic Haplu-dalf”). *R. Bras. Ci. Solo*, 7:329-333, 1983.
- FIORIN, J.E.; REINERT, D.J. & ALBUQUERQUE, J.A. Armazenamento de água no solo e crescimento e produção do milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:249-255, 1997.
- FORSYTHE, W.M. *Física de suelos: Manual de laboratório*. San Jose, IICA, 1975. 212p. (Lybros y Materiales Educativos, 25).
- GLINSKI, J. & LIPIEC, J. *Soil physical conditions and plants roots*. CRC Press, Boca Raton, FL. USA. 250p. 1990.
- GUPTA, S.C.; SHARMA, P.P. & DEFRANCHI, S.A. Compaction effects on soil structure. *Adv. Agron.*, 42:311-338, 1989.
- HANKS, R.J. *Applied soil physics*. 2. ed. New York, Springer-Verlag, 1992. 176p.
- HILLEL, D. *Fundamentals of soil physics*. San Diego, Academic Press, Inc.. 1982. 413p.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. Academic Press, inc. San Diego. 1998. p.309-339.
- HILL, R.L. Long-term conventional and no-tillage effects on selected soil physical properties. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54:161-166, 1990.
- JACKSON, R.D. & TAYLOR, S.A. Thermal conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 945-955. (Agronomy, Monogr., 9).
- 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: *EMBRAPA-CNPSO*, 1993. 37p. (Documentos. 61).

- KARLEN, D.L.; MAUSBACH, M.J.; DORAN, J.W.; CLINE, R.G.; HARRIS, R.F. & SCHUMAN, G.E. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 61:4-10, 1997.
- 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. (Agronomy, Monogr., 9).
- KETTERINGS, Q. M.; BLAIR, J. M. & MARINISSEN, J. C. Y. Effects of earthworms on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in a legume cover crop agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 29:401-408, 1997.
- KIEHL, E.J. *Manual de edafologia*. São Paulo, CERES, 1979. 215p.
- 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. (Agronomy, Monogr.; 9).
- LAL, R. & PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F. J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- LIBARDI, L.P.D. *Dinâmica da água no solo*. Piracicaba, 1995. 497p.
- MACHADO, J. A. & BRUM, A. C. R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:81-84, 1978.
- MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M. & BRUM, A. C. R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:187-189, 1981.
- MACHADO, R. L. T.; TURATTI, A. L.; ALONÇO, A. S.; MACHADO, A. L. T. & REIS, A. V. Efeitos da escarificação sobre alguns parâmetros físicos de um Planossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 21:519-523, 1997.
- MIELNICZUK, J.; RHEINHEIMER, D. S. & VEZZANI, F. M. Interações fertilidade e conservação do solo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Santa Maria, 2000. *Anais*. Santa Maria, 2000. (CD-ROOM).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- PÉREZ, D.V.; SIMÃO, S.M. & SALATINO, A. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:197-207, 1998.
- PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.
- PREVEDELLO, C.L. *Física dos solos com problemas resolvidos*. Curitiba. 1996. 446p.

- REINERT, D. J. & ELTZ, F. L. F. Plantio direto em áreas degradadas. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. *Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto*, Santa Maria, R.S., 1997. Pallotti. 1997. p.23-46.
- 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.
- SANTANA, D. P. & FILHO, A. F. C. B. A ciência do solo e o desafio da sustentabilidade agrícola. *Boletim informativo: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, 23:19-23, 1998.
- SAS Institute Inc. *SAS/STAT Procedures Guide for Personal Computers*. Version 6, 3 ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C.: 1990. 705p.
- SCOPEL, I.; COGO, N. P. & KLAMT, E. Infiltração da água em solos do litoral-norte do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:170-175, 1978.
- 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, 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.
- TAIZ, L. & ZEIGER, E. Stress physiology. In:____. *Plant physiology*. New York, The Benjamin/Cummings Company, Inc., 1991. p.346-370.
- 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.
- TSEGAYE, T. & HILL, R.L. Intensive tillage effects on spatial variability of soil properties. *Soil Sci.*, 163:143-154, 1998.
- 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.
- 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.
- WARRICK, A.W. & NIELSEN, D.R. Spatial variability of soil properties in the field. In: HILLEL, D. *Applications of soil physics*. New York, Academic Press, Inc. 1980. p.319-344.

ESTUDO 2: PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO - ESTABILIDADE DA ESTRUTURA

Autor: Engenheiro Agrônomo Falberni de Souza Costa

Orientador: Dr. Jackson Adriano Albuquerque

Co-orientador: Dr. Cimélio Bayer

RESUMO

Sistemas de uso e manejo podem alterar as propriedades físicas relacionadas à estabilidade da estrutura do solo, com conseqüentemente efeito sobre a produtividade das culturas. Neste estudo foram avaliadas a estabilidade da estrutura e a produtividade de culturas num Latossolo Bruno alumínico câmbico, da estação experimental da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios, Guarapuava (PR), após vinte anos (1978-2000) sob diferentes sistemas de uso e manejo: mata nativa; plantio direto no inverno e no verão (sem calcário, com calcário aplicado em superfície e com calcário incorporado); preparo reduzido, com escarificação no inverno e plantio direto no verão (sem calcário) e; preparo convencional no inverno e verão (sem calcário e com calcário incorporado). O solo foi cultivado em rotação de culturas e as espécies utilizadas foram: soja (*Glycine max* (L.) Merrill), trigo (*Triticum aestivum* L.), cevada (*Hordeum vulgare* L.), ervilhaca (*Vicia sativa* L.), milho (*Zea mays* L.), aveia (*Avena sativa* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.). As propriedades foram avaliadas nas camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-40 cm. A alta estabilidade do solo da mata nativa foi devida ao elevado teor de argila e carbono orgânico, associados à mineralogia do solo, com forte presença de óxidos de alumínio e de ferro. O uso do solo com lavouras anuais no sistema de preparo convencional degradou a estabilidade superficial da estrutura do solo, observado pela redução do diâmetro médio geométrico em 64%, em relação à mata nativa. Após vinte anos, os sistemas conservacionistas melhoraram a estabilidade da estrutura do solo, demonstrado pelo seu maior diâmetro médio geométrico, bem como aumentaram os teores de carbono orgânico e de cátions trocáveis, principalmente na camada superficial do solo, em comparação aos preparos convencionais. O sistema de plantio direto, comparado ao preparo convencional, (ambos no inverno e no verão e sem calcário) recuperou em 48% a estabilidade dos agregados. As culturas tiveram maior produtividade média (1978-2000) no sistema de plantio direto do que no preparo convencional. A soja foi a cultura que apresentou a maior diferença (42%) na produtividade entre os dois sistemas de manejo do solo.

Palavras chave: Plantio direto, preparo convencional, rotação de culturas, mineralogia, estabilidade de agregados.

II – ESTUDO 2

PROPRIEDADES FÍSICAS E PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE UM LATOSSOLO BRUNO SOB SISTEMAS DE MANEJO EM EXPERIMENTO DE LONGA DURAÇÃO

ESTABILIDADE DA ESTRUTURA

1 - INTRODUÇÃO

O arranjo ou organização das partículas no solo, isto é, a configuração interna da matriz do solo, é chamada “estrutura do solo”. As partículas primárias do solo diferem na forma, tamanho e orientação e podem estar associadas e interligadas, resultando assim numa massa complexa e de padrões irregulares, que são de difícil caracterização exata em termos geométricos. Uma complicação adicional é a inerente natureza instável da estrutura e daí sua inconstância no tempo e não uniformidade no espaço (Hillel, 1998). Segundo Gupta et al. (1989), os estudos sobre a estrutura do solo podem ser agrupados naqueles que descrevem a geometria dos poros e aqueles que descrevem a matriz do solo, ou seja, distribuição do tamanho e resistência dos agregados.

A formação e a estabilização dos agregados do solo ocorrem mediante a atuação de processo físicos, químicos e biológicos. Estes, por sua vez, atuam por mecanismos próprios, nos quais são envolvidas substâncias que agem na agregação e na estabilização. Entre essas, as principais são: argila (Emerson, 1959); sílica coloidal; materiais orgânicos transientes (principalmente polissacarídeos), temporários (raízes e hifas de fungos) e persistentes (componentes aromáticos resistentes, associados com metais polivalentes) (Tisdall & Oades, 1982); metais polivalentes (Peterson, 1947; Edwards & Bremner, 1967); carbonato de

cálcio (Munner & Oades, 1989); óxidos e hidróxidos de ferro (Barral et al., 1998; Muggler et al., 1999; Six et al., 2000) e de alumínio (Ferreira et al., 1999); exsudatos orgânicos hidrofóbicos (Giovannini et al., 1983; Piccolo & Mbagwu, 1999) e substâncias orgânicas provenientes da ação dos microrganismos (Eash et al., 1994; Ketterings et al., 1997; Degens, 1997). Além das substâncias agregantes, existem os agentes de agregação, representados pelo clima, raízes (Silva & Mielniczuk, 1997), microrganismos e pelo próprio tracionamento do solo (Dexter, 1988).

A estabilidade e distribuição dos agregados do solo, bem como a forma da estrutura, têm efeito direto em vários processos que influenciam o crescimento das culturas, a sustentabilidade da produção (Letey, 1985), a aeração, a umidade, a resistência mecânica e temperatura do solo (Taylor & Ashcroft, 1972). A agregação do solo reduz o encrostamento superficial, a erosão, permite o livre movimento de água e do ar no solo e é importante na proteção e conservação da matéria orgânica do solo (Dexter, 1988; Le Bissonnais & Arrouays, 1997; Aoyama et al., 1999).

A estabilidade estrutural depende principalmente das forças que unem os microagregados (<250 μ m) em macroagregados (>250 μ m) (Edwards & Bremner, 1967; Tisdall & Oades, 1982). A macroagregação depende dos agentes de ligação temporários e é sensível às mudanças no conteúdo de matéria orgânica do solo, induzidas por sistemas de manejo (Tisdall & Oades, 1982; Dexter, 1988; Angers & Giroux, 1996).

A estabilidade de agregados tem sido freqüentemente utilizada como a medida da qualidade da estrutura do solo e pode ser expressa por índices como o diâmetro médio ponderado (DMP) ou o diâmetro médio geométrico (DMG). Outros indicadores têm sido utilizados, dependendo do objetivo da pesquisa (Angulo et al., 1984; Sidiras et al., 1984; Reichert et al., 1993; Amezketa et al., 1996; Muggler et al., 1997; Carolino de Sá et al., 1999; Six et al., 2000).

A estabilidade de agregados é uma propriedade edáfica dinâmica, variando no tempo e espaço (Albuquerque et al., 1994; Campos et al., 1995; Wohlenberg et al., 1998), ou seja, o tempo no qual um mesmo solo está submetido a diferentes sistemas de manejo ou diferentes solos submetidos a um mesmo sistema de manejo. Segundo Silva & Mielniczuk (1998), sob determinado manejo, as condições físicas do solo tenderão a um estado estável, o qual é dependente das condições edáficas e climáticas. Dessa forma, diferentes sistemas de manejo resultam em diferentes condições de equilíbrio físico do solo que influenciam a conservação do solo e a produtividade das culturas. O equilíbrio físico pode ser entendido como o arranjo na estrutura ocorrente logo após as práticas envolvidas no sistema de manejo do solo ao longo do tempo.

Para um mesmo tipo de solo, diferentes práticas de manejo poderão afetar diferentemente suas propriedades, incluindo os processos de agregação, sejam eles físicos, químicos ou biológicos (Morelli & Ferreira, 1987; Eltz et al., 1989; Campos et al., 1995; Reinert & Eltz, 1997; Silva & Mielniczuk, 1998; Six et al., 1999; Albuquerque et al., 2000).

O sistema de plantio direto, ao manter os resíduos culturais na superfície, aumenta a matéria orgânica e melhora a agregação do solo em relação ao preparo convencional (Carpenedo & Mielniczuk, 1990). Esse aumento de matéria orgânica tem efeito direto sobre a qualidade ambiental, uma vez que, quanto mais orgânico é um solo, menor é o seu potencial de lixiviação e contaminação de água subterrânea (Mattos & Silva, 1999).

Segundo Reinert & Eltz (1997), operações agrícolas que envolvem mobilização do solo alteram substancialmente atributos ligados à sua estrutura. Inicialmente há aumento da porosidade e redução da densidade do solo, que por sua vez afetam em cadeia outros atributos, porém, esta condição inicia a ser perdida logo após a primeira chuva. Com os ciclos de umedecimento e secagem (Dexter, 1988) e com tráfego sobre o solo o processo de

reconsolidação ocorre e o solo volta à sua condição original ou pode atingir estados de pior qualidade do que o inicial.

O comportamento das propriedades físicas do solo é função também das suas propriedades químicas, que podem lhe conferir maior ou menor instabilidade frente às circunstâncias perturbadoras, sejam elas promovidas pelo clima, ação antrópica pela ação dos vegetais ou por processos naturais ou pedogenéticos (Rezende, 1997). Reichert et al. (1993) e Albuquerque (1998) observaram que a estabilidade de agregados e a erodibilidade em entressulcos, respectivamente, foram função da capacidade de troca de cátions (CTC), área superficial específica (ASE), natureza dos cátions e mineralogia do solo.

Segundo Mielniczuk & Schneider (1984), a utilização de sistemas de manejo do solo de forma inadequada, além de degradar a estrutura e reduzir a produtividade do solo, tem reflexos sociais e econômicos. A avaliação destes, segundo os mesmos autores, não é tarefa fácil.

A qualidade e estabilidade de agregados, indicadoras da qualidade geral da estrutura de um solo, têm relações com a classe de solo, com o tipo de sistema de manejo ao qual o solo é submetido e fundamentalmente com o tempo de utilização do sistema de manejo em mesmas condições edafoclimáticas.

Os resultados já publicados de produtividade das culturas no sistema de plantio direto, em relação ao preparo convencional, têm sido variáveis, ora apresentando-se maior, ora menor. Petreire et al. (1996) compararam a produtividade de culturas no sistema de plantio direto e no preparo convencional para a mesma adubação, calagem e tratos culturais, em um Latossolo Vermelho-Escuro (Passo Fundo, Cruz Alta, RS e Ponta Grossa, PR), um Latossolo Roxo (Santo Ângelo, RS) e um Podzólico Vermelho-Escuro (Eldorado do Sul, RS). Constataram que a produtividade foi variável, de baixa a elevada, em função dos locais e anos, refletindo a variabilidade de solos e condições climáticas, e semelhante nos dois

sistemas quando houve irrigação. Na avaliação global, os sistemas foram equivalentes, com pequena vantagem para plantio direto, atribuída pelos autores a outros fatores e não propriamente às condições de fertilidade do solo ou à resposta à adubação. O controle da erosão do solo pelo plantio direto, segundo os mesmos autores, pode contribuir para aumentar a produtividade neste sistema.

Contudo, segundo Derpsch (1990) e Samaha et al. (1998), com base nas pesquisas já desenvolvidas principalmente em médias e grandes propriedades do Paraná, as implicações técnicas, socio-econômicas e ambientais continuam atraindo adeptos ao plantio direto. Para Ernani (1999), a produtividade das culturas normalmente não é afetada pelo sistema de preparo do solo, podendo haver maior produtividade num ou noutro sistema, devido a condições específicas, relacionadas à disponibilidade e mobilidade de nutrientes no solo.

Segundo estimativas, a área cultivada em sistema de plantio direto no Brasil nas safras de inverno e verão, excluía a área cultivada na safrinha, era de 5,5 em 1995-96 e 13,4 milhões de hectares em 1998-99 (Federação..., 2000), uma expansão que demonstra a importância deste sistema.

O objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade da estrutura e produtividade de culturas de um Latossolo Bruno após 20 anos em diferentes sistemas de manejo. As hipóteses formuladas foram:

3. O uso do sistema de preparo convencional por longo período degrada a estrutura do solo, comparado à mata nativa, observado pela redução na estabilidade de agregados;
4. A adoção do sistema de plantio direto por longo período recupera a estrutura do solo, observado pelo aumento da estabilidade de agregados, bem como do carbono orgânico;
5. A produtividade de culturas é maior no sistema de plantio direto, comparado ao preparo convencional, devido às suas melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo ao longo do tempo.

2 - MATERIAL & MÉTODOS

O experimento está localizado no Campo Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – FAPA, da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda., em Guarapuava, Paraná. O solo da área experimental é um Latossolo Bruno alumínico câmbico (Embrapa, 1999). Foram avaliados dois sistemas de uso do solo: mata nativa e cultivos anuais. Os cultivos anuais consistiram de seis sistemas de manejo: plantio direto no inverno e no verão sem calcário (PD-PD sem), com calcário superficial (PD-PD sup) e com calcário incorporado (PD-PD inc); preparo reduzido, escarificação no inverno e plantio direto no verão, sem calcário (ESC-PD sem); preparo convencional no inverno e no verão sem calcário (PC-PC sem) e com calcário incorporado (PC-PC inc). Maiores informações podem ser obtidas no estudo 1, visto que a área avaliada é a mesma daquele estudo.

2.1 – Coleta das amostras

As amostras para determinações químicas e estabilidade de agregados foram coletadas em maio de 1999, antes da implantação das culturas de inverno. Uma nova coleta para estabilidade de agregados foi realizada em janeiro de 2000, durante o cultivo do milho (fase de grão leitoso). As duas coletas para estabilidade de agregados foram realizadas porque em 1999, nos preparos convencionais, o solo encontrava-se com torrões compactados na superfície, pois havia sido preparado poucos dias antes da coleta.

Em cada parcela, para amostragem do solo, foram abertas trincheiras, com dimensões aproximadas de 0,50x0,50x0,50 m. Nestas, foram coletadas amostras (agregados) com estrutura preservada, nas entre-linhas da cultura nas camadas de 0-5; 5-10; 10-20 e 20-40 cm. As amostras para avaliação da estabilidade da estrutura foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos, de modo a preservá-los até o momento das determinações laboratoriais, realizadas no laboratório de solos do Centro de Ciência Agroveterinárias – CAV, da Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC.

2.2 – Determinações de laboratório

Foram utilizadas amostras de agregados indeformados, na classe entre 8 e 4,75mm para a determinação da estabilidade de agregados em água (Kemper & Chepil, 1965), representada pelo diâmetro médio geométrico (DMG). As peneiras utilizadas na determinação tinham abertura da malha de 4,75; 2,00; 1,00 e 0,25 mm. O equipamento utilizado era do tipo Yoder (Yoder, 1936) e antes da agitação os agregados permaneceram imersos em água por dez minutos. O tempo de agitação foi de 10 minutos, com 40 oscilações por minuto, curso de oscilação vertical de 3,8 cm em tanques de água com capacidade de 6 litros.

Nas amostras deformadas foram determinados os teores de carbono orgânico, cátions trocáveis (cálcio, magnésio, potássio e alumínio), pH em água e em cloreto de potássio e a densidade de partícula pelo método do balão volumétrico (Embrapa, 1997). A distribuição de tamanhos de partículas em água e em hidróxido de sódio (NaOH) pelo método da pipeta (Gee & Bauder, 1986), foi determinada após agitação horizontal por duas horas, permitindo desta forma o cálculo do grau de floculação (GF). O ponto de efeito salino nulo (PESN) (Embrapa, 1997) foi determinado para cada sistema de manejo, utilizando-se para tanto uma amostra formada a partir da mistura de sub-amostras das três repetições na camada de 0-5 cm.

A análise mineralógica foi determinada em amostra composta por sub-amostras de todos os sistemas, blocos e profundidades. A metodologia seguida foi a descrita por Whittig & Allardice (1986). A matéria orgânica foi oxidada com peróxido de hidrogênio (Kittrick & Hope, 1963). A fração areia foi removida por tamisamento em peneira de 53 μm . As frações silte (2-53 μm) e argila (< 2 μm) foram separadas por sedimentação do silte e posterior sifonamento da argila em suspensão. Este processo foi repetido várias vezes para que, praticamente, toda a argila fosse separada do silte. Em seguida, a argila sifonada foi floculada com ácido clorídrico (HCl) 1N e lavada com água e álcool. Após, sub-amostras foram saturadas com potássio, magnésio e magnésio mais glicerol à temperatura ambiente e armazenadas em recipientes na forma líquida. As frações areia e silte foram armazenadas na forma de pó.

A análise por difração de raio-X (DRX) foi realizada em lâminas da fração argila orientada e no pó das frações silte e areia. Foi utilizado um equipamento Phillips, modelo PW1830, com radiação Fe-K α , corrente do tubo de 35 mA e 35 kV e monocromador de grafite. As lâminas saturadas com potássio, após serem analisadas, foram aquecidas a 110, 350 e 550°C, obtendo-se difratogramas após cada aquecimento.

O ponto de efeito salino nulo (PESN) e a mineralogia foram determinadas para melhor caracterização do solo do experimento e servir como possível referencial nas comparações entre a mata e os sistemas de manejo do solo.

A produtividade das culturas nesses vinte anos de condução do experimento foi obtida em Jaster et al. (1993), FAPA (1998) e Fontoura (2000)¹, que realizaram pesquisa no mesmo experimento avaliado neste estudo.

¹ FONTOURA, S.M.V. Comunicação pessoal. 2000.

2.3 – Análise estatística

A significância dos efeitos dos sistemas de manejo do solo sobre as propriedades avaliadas foi feita pela análise de variância por profundidade, segundo delineamento em blocos casualizados, com três repetições. As diferenças entre médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância. Foram realizadas análises de correlação simples para os cátions trocáveis e grau de floculação e o diâmetro médio geométrico (SAS, 1990), sendo o valor do coeficiente de correlação o critério utilizado para seleção das melhores correlações.

Na discussão, os sistemas de plantio direto (PD-PD sem, PD-PD sup, PD-PD inc e ESC-PD sem) foram denominados de sistemas conservacionistas e os PC-PC sem calcário e PC-PC calcário incorporado como preparos convencionais.

Na análise dos dados de produtividade de culturas, observou-se primeiramente o comportamento da produtividade ao longo do tempo (número de safras com informações disponíveis), com os gráficos permitindo observar o comportamento qualitativo da produtividade nos diversos sistemas de manejo do solo. Posteriormente analisou-se a diferença percentual da produtividade acumulada em cada cultura, o que permitiu comparação quantitativa (percentual) entre os sistemas de manejo do solo.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 – Textura

As classes texturais foram principalmente argilosa a muito argilosa (Anexo 11). A argila variou de 525 (ESC-PD sem calcário na camada de 5-10 cm) a 730 g kg⁻¹ (PD-PD sem calcário na camada de 20-40 cm) e de maneira geral aumentou com a profundidade. O elevado teor de argila se deve ao intemperismo característico dos Latossolos e ao material de origem.

3.2 – Mineralogia

A fração areia tem como mineral dominante o quartzo, com reflexos basais em 0,334 (100) e 0,424 nm (35). Na fração silte, e com menor intensidade na areia, os reflexos em 0,417 (100), 0,269 (30), 0,245 (25) e 0,258 nm (12) são da goethita, os em 0,269 (100), 0,251 (75) e 0,367 nm (75) são da hematita e o reflexo em 0,485 nm (100) é da gibbsita (Figura 9). Os reflexos em 0,714 (100) e em 0,357 indicam a presença da caulinita (Figura 9), o que indica que os óxidos de ferro se uniram à caulinita e formaram partículas do tamanho do silte. Pinheiro-Dick & Schwertmann (1996) e Albuquerque (1998), estudando Latossolos brasileiros constataram comportamento semelhante. Esta constatação pode explicar em parte o

menor conteúdo de argila nas camadas superficiais, o que é reforçado pelas limitações que o método de oxidação da matéria orgânica apresenta.

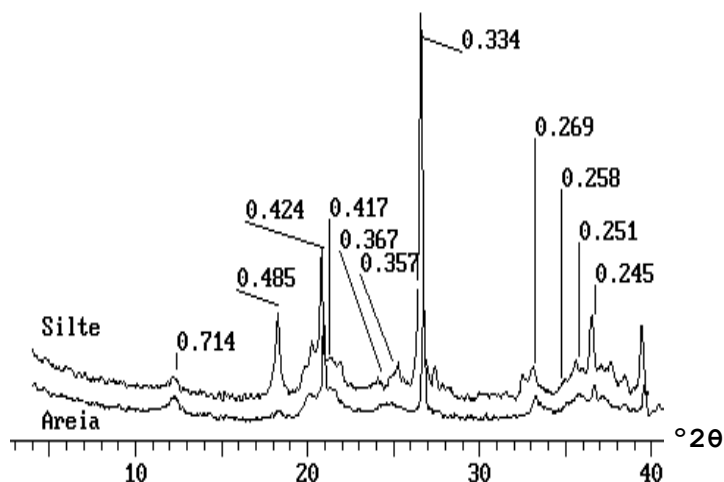


Figura 9. Difratoograma de raio X das frações areia e silte em pó. Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR.

Na fração argila, saturada com magnésio, observou-se o predomínio de gibbsita com reflexos em 0,483 (100) e 0,437 nm (40) e da caulinita com reflexos em 0,714 (100) e 0,357 nm (70) (Figura 10), confirmado pelo seu desaparecimento na amostra saturada com potássio e aquecida a 550°C (Figura 11). Os picos em 0,413 (100) e 0,333 nm (100) são da goethita e quartzo, respectivamente.

Constatou-se a ocorrência de reflexo em 1,415 nm (Figura 10). Contudo, saturando a amostra com magnésio mais glicerol, não se observou aumento no espaçamento entre camadas, indicando a possível presença do argilomineral 2:1 com hidróxi-Al nas entre camadas. A amostra saturada com potássio à temperatura ambiente (Figura 11) não induziu a alteração do pico com espaçamento basal em 1,415 nm. Todavia, com o aquecimento observou-se que os aquecimentos a 110°C, a 350°C e a 550°C causaram colapso apenas parcial das camadas até 1,00 nm. Segundo Ker & Resende (1990), esse comportamento

sugere a existência de cadeia ou ilhas de cátions entre as lamelas, provavelmente hidróxi-Al, que impedem o colapso completo a 1,00 nm.

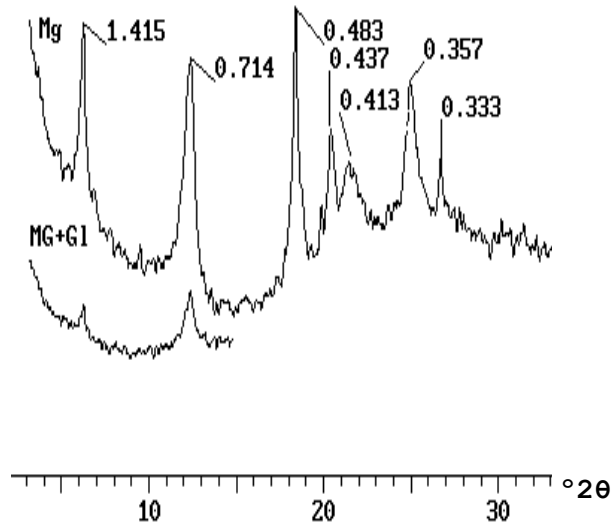


Figura 10. Difratograma da fração argila saturada com magnésio (Mg) e magnésio mais glicerol (Mg+Gl). Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR.

Kämpf et al. (1995), estudando um Latossolo Bruno de Vacaria (RS), originado de basalto, por difratometria de raio X e espectroscopia Mössbauer, identificaram a estrutura básica 2:1 como esmectita e o mineral como esmectita com hidróxi-Al entrecamadas (EHE), confirmada como esmectita de composição ferrífera, segundo espectros Mössbauer.

A presença de gibbsita e óxidos de ferro (goethita e hematita) em Latossolos também foi verificada por Ker & Resende (1990), que caracterizaram solos brunos subtropicais brasileiros quanto à química e à mineralogia e por Ferreira et al. (1999), que avaliaram a influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos do sudeste brasileiro, concluindo que eles eram, com algumas exceções, predominantemente gibbsíticos e goethíticos. A umidade elevada, função da boa distribuição das chuvas no ano, baixas temperaturas, teores elevados de matéria orgânica e meio ácido podem em parte explicar essa similaridade mineralógica entre os locais dos estudos citados e a região de Guarapuava.

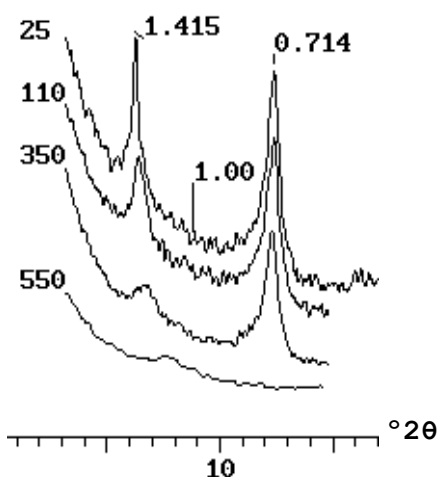


Figura 11. Difratoograma da fração argila saturada com potássio a temperatura ambiente (25°C) e aquecimento a 110, 350 e 550°C. Espaçamento d em nanômetro (nm). LB. Guarapuava, PR.

3.3 – Cátions trocáveis, acidez ativa e ponto de efeito salino nulo (PESN)

Os valores médios de cálcio, magnésio, potássio e CTC de todos os sistemas (blocos e profundidades) estavam acima dos níveis críticos, enquanto que o de alumínio, da soma de bases e o do pH em água considerados como médios (CFS/RS-SC, 1995) (Anexo 12).

Os cátions básicos (Ca, Mg e K) tiveram forte associação com os teores de carbono orgânico, sendo os coeficientes de correlação de 0,60 para o cálcio, 0,53 para o magnésio e 0,51 para o potássio (Anexo 13).

Os valores de PESN, ou seja, o valor de pH onde a carga líquida variável é nula nas superfícies de carga variável (Sposito, 1989), caracterizam o solo estudado como sendo de carga líquida negativa nas condições naturais (Figuras 12 e 13), confirmado pelos valores negativos de delta pH (ΔpH) (Anexo 12). Convém lembrar que o PESN foi determinado por sistema de manejo do solo, com amostra composta obtida pela mistura das três repetições da camada de 0-5 cm.

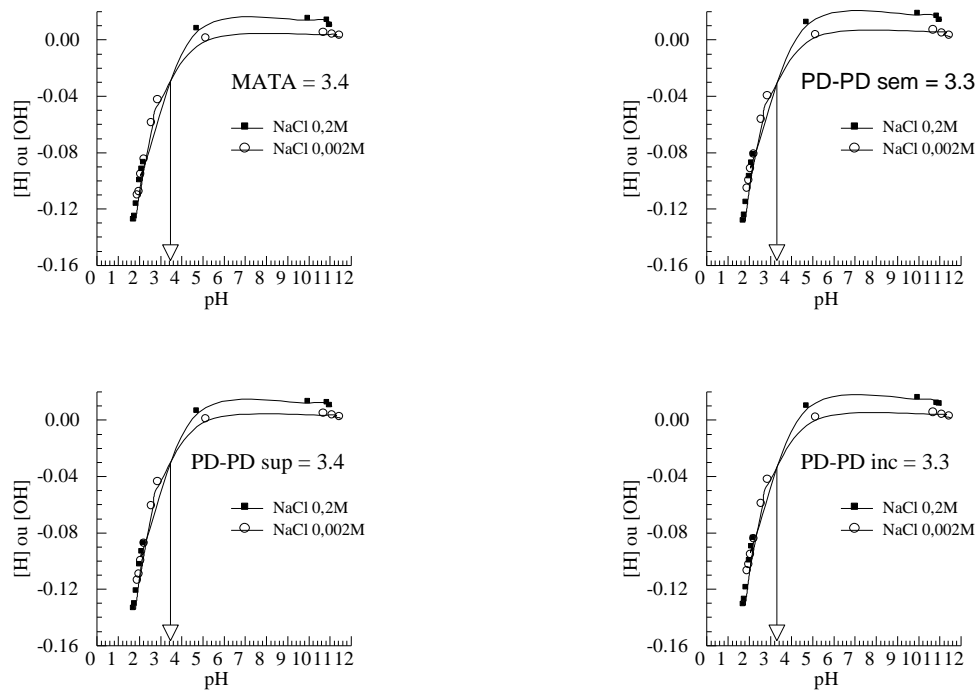


Figura 12. Ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR.

Os valores de PESN entre os sistemas variaram de 3,3 a 3,4. Magalhães & Page (1984), estudando Latossolos da zona da mata de Pernambuco, obtiveram valores de PESN entre 3,6 e 4,6, enquanto que Albuquerque et al. (2000), estudando um Latossolo Bruno de Santa Catarina, obtiveram valor de PESN de 3,77. A quantidade de matéria orgânica acumulada nesse solo reduziu o PESN pelo aumento do número de grupos carboxílicos, principais responsáveis pelas cargas negativas da matéria orgânica (Schnitzer, 1986) e pelo aumento na adsorção específica de ânions orgânicos na superfície dos minerais (Oades et al., 1989).

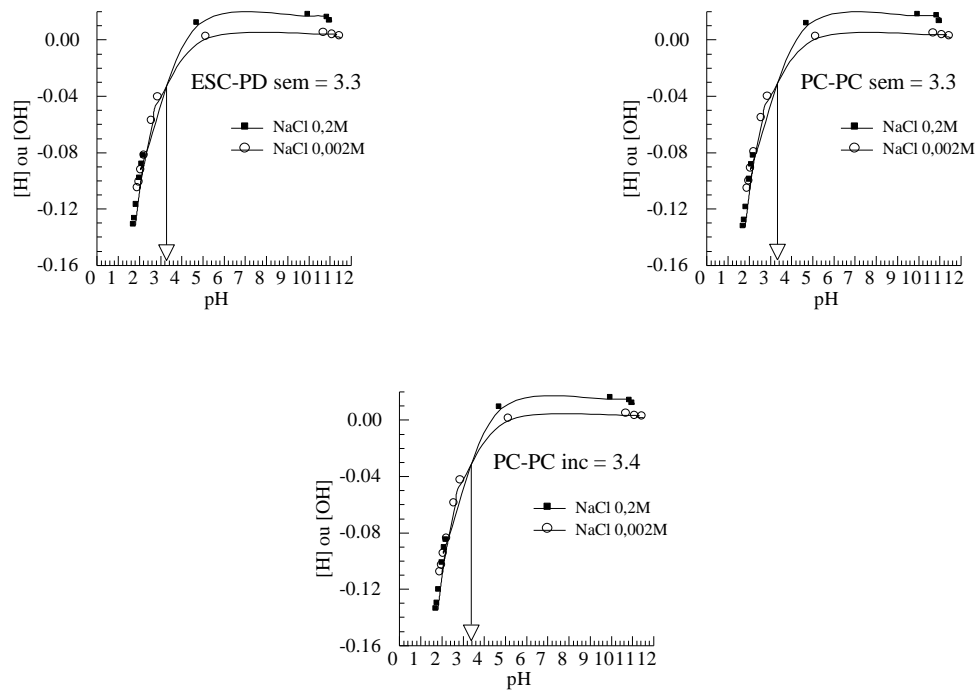


Figura 13. Ponto de efeito salino nulo (PESN) do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR.

3.4 – Carbono orgânico (CO)

Entre os sistemas de manejo do solo, o CO apresentou diferença estatística nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm (Figura 14). A principal diferença foi entre os sistemas conservacionistas e o PC-PC sem. Essa diferença pode ser atribuída a dois fatores: o revolvimento do solo e a quantidade de resíduos culturais deixados no solo. O revolvimento do solo, aliado ou não a outras práticas agrícolas, como a calagem (Albuquerque et al., 2000), reduz a quantidade de CO do solo pelo fracionamento do resíduo deixado sobre a superfície e sua maior exposição ao ataque microbiano (Dexter, 1988). Quanto à quantidade de resíduo, espera-se que os sistemas com calcário tenham maior aporte em relação àqueles sem calcário, o que pode ser verificado na figura 14, utilizando o carbono orgânico como indicador, entre os

sistemas de plantio direto. No sistema onde havia calcário, os valores de carbono orgânico foram maiores, em todas as camadas, em relação ao PD-PD sem calcário.

De maneira geral, o CO foi decrescente da primeira até a última camada em todos os sistemas. Destaca-se o efeito do revolvimento do solo, com o CO sendo reduzido nos preparos convencionais e acumulado na superfície nos sistemas conservacionistas e mata (Figura 14).

Um aspecto importante observado foi a aproximação dos valores de CO dos sistemas conservacionistas aos da mata na camada de 0-5 cm e até sendo maiores nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Isso indica a influência do tempo e do revolvimento do solo sobre essa propriedade, apesar de todos os sistemas estarem expostos às mesmas condições climáticas da região.

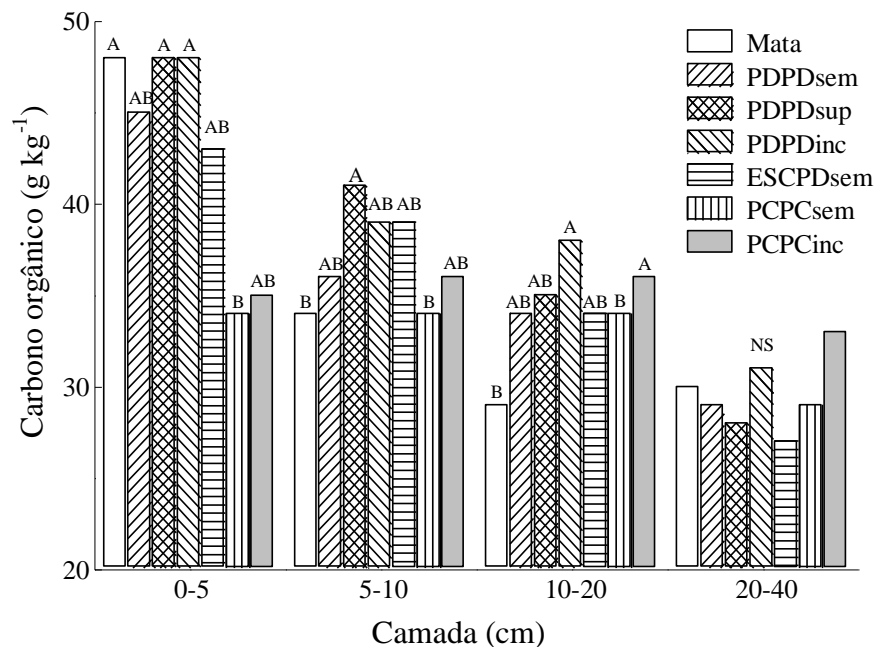


Figura 14. Carbono orgânico no solo sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%. NS = não significativo.

3.5 – Grau de flocculação (GF)

O grau de flocculação dos sistemas de manejo do solo diferiu apenas na camada de 0-5 cm. Os sistemas conservacionistas PD-PD e ESC-PD, ambos sem calcário, apresentaram maior GF em relação ao sistema mata (Figura 15).

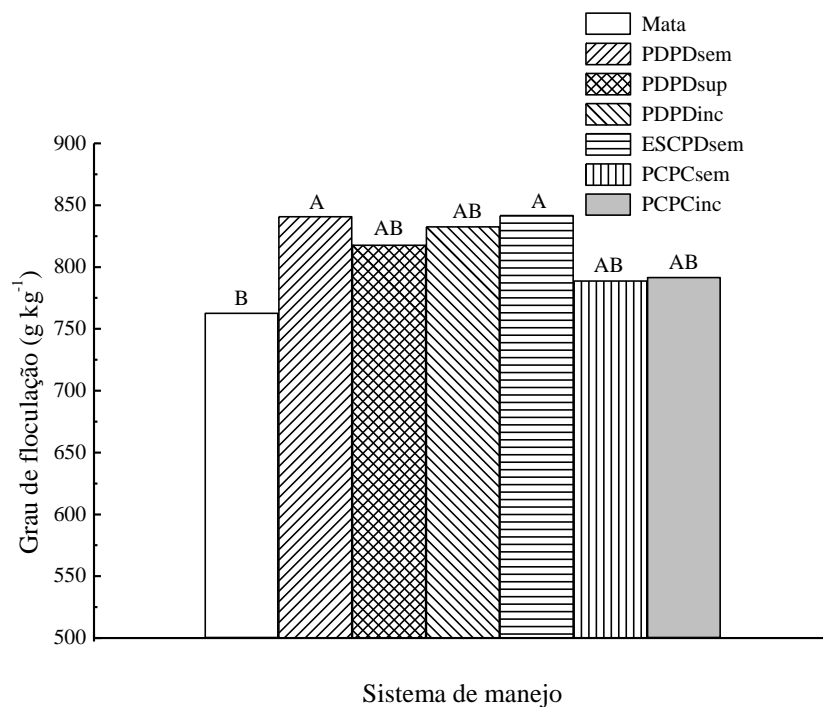


Figura 15. Grau de flocculação de argila do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. LB. Guarapuava, PR. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Nos sistemas conservacionistas o GF médio foi de 835 g kg⁻¹ e nos preparos convencionais de 790 g kg⁻¹. Embora a diferença entre o PESN e pH do solo para esses sistemas não explique esse comportamento, os valores da CTC (Anexo 12) provavelmente o fazem. A mata apresentou maior CTC que os sistemas conservacionistas em questão, o que indica que havia mais cargas negativas no solo, o que refletiu em maior dispersão da argila do solo (Figura 15), mesmo havendo na mata mais cálcio, alumínio e menor diferença entre o

PESN e o pH em água, condições que poderiam indicar justamente o contrário do comportamento apresentado. Contudo, algum processo ou reação deve estar ocorrendo para este comportamento, pois a mata apresentou maior DMG justamente na camada de 0-5 cm (Figura 17), onde houve o menor grau de floculação. Esse comportamento, menor GF e não interferência na estabilidade de agregados, também foi constatado por Albuquerque et al. (2000), estudando um Latossolo Bruno de Santa Catarina, o que sugere estudo mais específico para esclarecimento dessa questão. A qualidade da matéria orgânica parece influenciar esse comportamento. Pérez et al. (1998), estudando as substâncias responsáveis pelo grau de repelência à água (hidrofobicidade) em amostras de diferentes solos arenosos sob distintas vegetações, mostraram que a repelência foi maior nos solos com maiores teores de carbono orgânico, que as substâncias tinham origem na vegetação local e que elas eram alcanos de alto peso molecular. Embora no estudo desses pesquisadores tenham sido avaliados solos arenosos, os autores salientam que solos argilosos também podem apresentar este caráter de repelência à água. Assim, pode-se sugerir que provavelmente a repelência do solo à água, oriunda de substâncias hidrofóbicas da própria mata nativa deste estudo, esteja relacionada com o comportamento apresentado quanto ao seu grau de floculação.

O estudo de correlação simples para o GF (Anexo 13) mostrou sua associação com o carbono orgânico ($r = 0,54$ e $P < 0,0001$), com a soma de bases (SB) ($r = 0,30$ e $P < 0,0001$) e com capacidade de troca de cátions (CTC) ($r = 0,51$ e $P < 0,0001$). Contudo, como os cátions básicos, principalmente, foram associados com o carbono orgânico (item 3.4) e os coeficientes da SB e CTC foram menores do que o do carbono orgânico, pode-se sugerir que seus efeitos sobre o GF foram indiretos, devido à presença do carbono orgânico. Este fato, aliado à complexidade e concomitância das reações químicas e seus efeitos nas demais propriedades físicas do solo, corrobora a já sugerida necessidade de estudos mais específicos

e detalhados para entendimento do que ocorre nos solos quando cultivados com fins agrícola, principalmente em experimentos de longa duração como este.

3.6 – Estabilidade de agregados

Na amostragem de maio de 1999, o solo havia sido preparado dias antes da coleta. Nos preparos convencionais, os agregados que estavam na superfície na verdade eram torrões que resistiram à ação dos implementos, oriundos da camada mobilizada (superfície e subsuperfície), trazidos ou mantidos na superfície pelo revolvimento. Além de secos, devido à exposição ao sol, normalmente eles são compactados. Contudo, observou-se que a estabilidade de agregados é uma propriedade degradada pelo preparo do solo, pois o diâmetro médio geométrico, em todos os sistemas, em valor absoluto foi menor em relação à mata nativa (Figura 16).

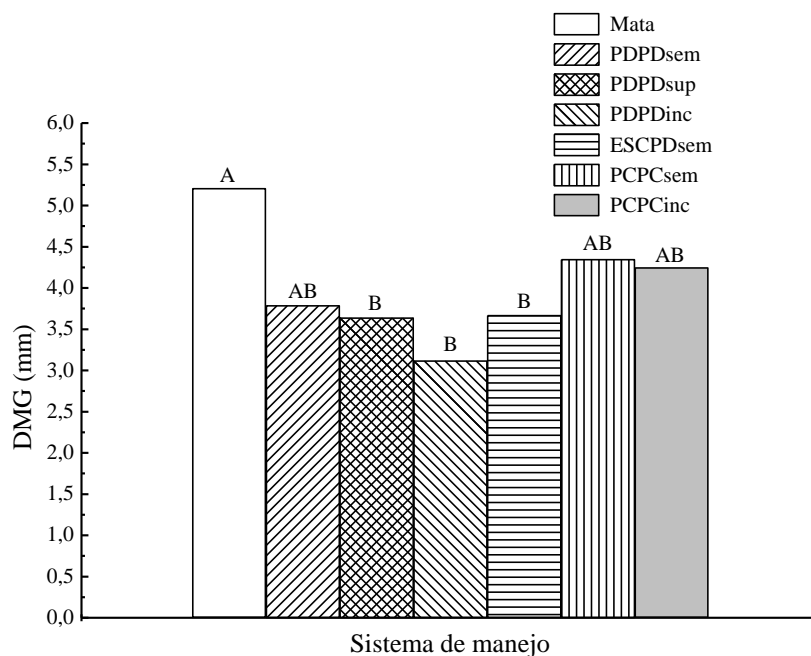


Figura 16. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo (0-5 cm) sob sistemas de manejo. Maio de 1999. LB. Guarapuava, PR. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Em janeiro de 2000, a estabilidade de agregados diferiu entre os sistemas de manejo do solo nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Figura 17). Na camada de 0-5 cm, o solo da mata apresentou a maior (5,4 mm) e o PC-PC sem calcário a menor (1,6 mm) estabilidade de agregados, indicando que o uso do solo, de uma condição nativa para uma de cultivo, promoveu uma redução de aproximadamente 3,5 vezes na estabilidade dos agregados.

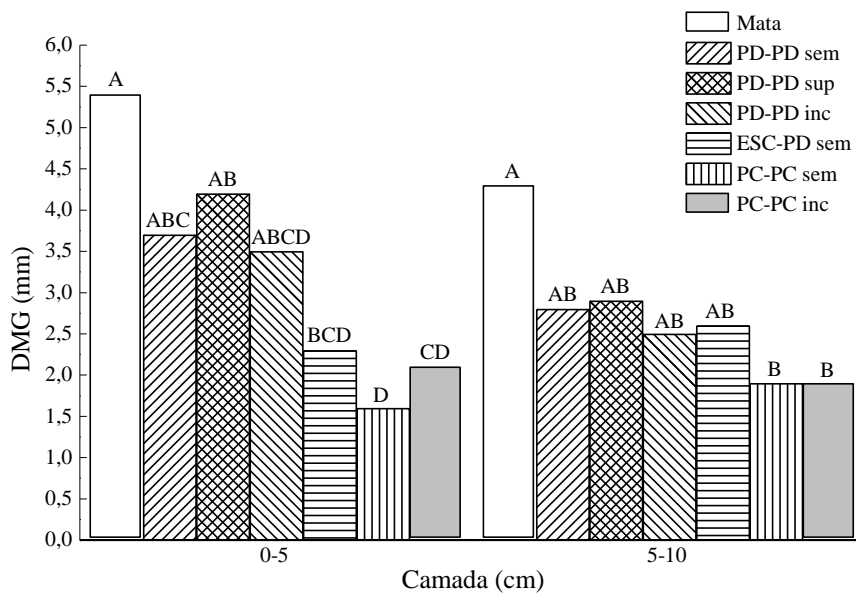


Figura 17. Diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo (0-5 e 5-10 cm) sob sistemas de manejo. Janeiro de 2000. LB. Guarapuava, PR. Letras comparam sistemas dentro da mesma camada. Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

O efeito do preparo na estrutura do solo pode ser verificado na comparação entre os sistemas PD-PD e PC-PC, ambos sem calcário. O DMG do PD-PD (3,7 mm) foi 2,3 vezes superior ao do PC-PC (1,6 mm), concordando Albuquerque et al. (1994) e Campos et al. (1995), que relacionaram esta diferença ao incremento de matéria orgânica e à não mobilização do solo no plantio direto. Albuquerque et al. (1994), estudando um Podzólico

Vermelho-Amarelo de Santa Maria (RS), verificaram valores de DMG médio de 3,00 mm no plantio direto e 1,35 mm no preparo convencional, entre a floração e a colheita do milho, período semelhante à época de coleta das amostras para determinação da estabilidade deste estudo. Já Campos et al. (1995), avaliando um Latossolo Vermelho-Escuro de Cruz Alta (RS), estando o solo em rotação de culturas, encontraram valores médios de DMG de 2,50 mm no plantio direto e 1,10 mm no preparo convencional.

Entre os sistemas PD-PD sem calcário e PD-PD com calcário superficial pode-se observar o efeito da maior produção de resíduos e portanto maior carbono orgânico (Figura 14), sobre a estabilidade de agregados (Figura 17), consequência da calagem. O mesmo pode ser dito em relação à diferença entre o PD-PD calcário superficial e o PC-PC calcário incorporado. A incorporação do calcário no PD-PD foi decisiva para redução do valor do DMG em relação ao PD-PD com calcário superficial, mesmo com a última calagem tendo sido realizada em 1995. Os valores de carbono orgânico entre ambos os sistemas não foram diferentes (Figura 14), o que reforça mais ainda esta explicação. Entre os preparos convencionais sem calcário e com calcário, também pode-se verificar o efeito do calcário, promovendo maior produção de resíduos e portanto maior carbono orgânico (Figura 14).

A estabilidade de agregados no ESC-PD sem calcário na camada de 0-5 cm foi intermediária em relação aos sistemas conservacionistas e preparos convencionais.

Na camada de 5-10 cm, a mata apresentou a maior estabilidade de agregados, seguida pelos sistemas conservacionistas e, por último, pelos preparos convencionais. Estatisticamente, a mata não diferiu dos sistemas conservacionistas, mas diferiu dos preparos convencionais. Estes por sua vez não diferiram dos sistemas conservacionistas.

Na mata, além do não revolvimento do solo, os teores de carbono orgânico (Figura 14), cálcio, alumínio e a menor diferença entre o PESN e o pH em água (Anexo 12), podem explicar o seu maior DMG, principalmente na camada de 0-5 cm.

A estabilidade da estrutura de um solo é dinâmica, variando no tempo e no espaço. A recuperação de um solo degradado para suas condições originais não é um processo rápido, mas há indicações de que a estabilidade estrutural dos solos ocorra em tempos mais reduzidos do que a recuperação da forma da estrutura e que as modificações estão associadas às variações do conteúdo de matéria orgânica dos solos (Reinert, 1998). Albuquerque et al. (1994) observaram variação temporal da estabilidade dos agregados no sistema de plantio direto e preparo convencional.

A estabilidade de agregados em 2000, média das camadas de 0-5 e 5-10 cm, foi reduzida pelo preparo convencional em 64% em relação à mata nativa, enquanto que o plantio direto recuperou 48% da estabilidade perdida (Figura 18).

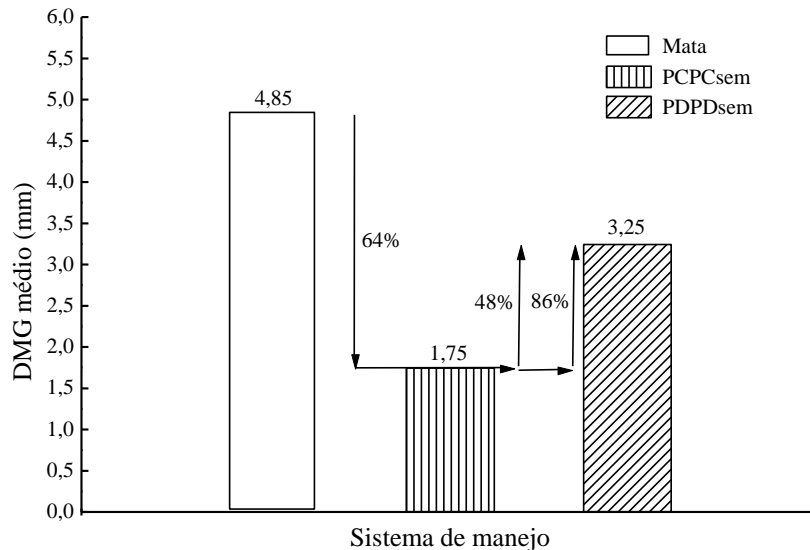


Figura 18. Diâmetro médio geométrico médio (DMG) dos agregados do solo (0-10 cm) sob sistemas de manejo. Janeiro de 2000. LB. Guarapuava, PR.

É importante mencionar que a área dos sistemas convencionais já era utilizada com estes sistemas de 1950 a 1962, quando então passou a ser utilizada com pastagem melhorada até 1968. Deste ano até 1977, foi novamente utilizada com preparo convencional e em 1978

foi iniciado o experimento ora avaliado. O percentual de acréscimo da estabilidade promovida pelo plantio direto em relação ao preparo convencional neste estudo foi de 86% (Figura 18), concordando com Eltz et al. (1989) que encontraram 85%, também na média das camadas de 0-5 e 5-10 cm em ambos os estudos, mesmo com época de coleta das amostras (inverno de 1986) e método de determinação da estabilidade (Yoder, 1936) diferentes em relação a este estudo.

O estudo de correlação simples para a estabilidade de agregados (Anexo 13) mostrou sua associação com o carbono orgânico - CO ($r = 0,32$ e $P < 0,0029$), com o delta pH ($r = 0,42$ e $P < 0,0001$) e com a capacidade de troca de cátions – CTC ($r = 0,51$ e $P < 0,0001$). O valor do coeficiente de correlação da CTC comparado ao do CO, parece demonstrar que a estabilidade da estrutura do solo, para as condições deste estudo, está mais associada aos cátions trocáveis do que ao CO. A maior ou menor contribuição do CO para a agregação do solo, para uma mesma classe e mineralogia, é função da sua origem (Degens, 1997), da sua natureza (Tisdall & Oades, 1982), do tipo de preparo do solo (Dexter, 1988), da aplicação ou não de calcário (Albuquerque et al., 2000) entre outros.

De modo geral, foi observado que os sistemas de manejo do solo não alteraram as propriedades físicas estudadas na camada de 20-40 cm, mesmo passados 20 anos, indicando que estudos futuros devem ser realizados sobretudo nas camadas mais superficiais, onde os efeitos são mais nítidos e importantes, considerando acúmulo de nutrientes e carbono orgânico no plantio direto, erosão no preparo convencional e a compactação do solo em ambos os sistemas.

3.7 – Sistemas de manejo do solo e a produtividade das culturas

Foram avaliadas a produtividade das culturas de soja, milho e cevada em várias safras (Figuras 19, 20 e 21) e a produtividade acumulada de soja, milho, trigo, cevada e aveia nos sistemas de manejo do solo PC-PC e PD-PD (Quadro 6), ambos sem calcário. A produtividade das culturas de verão, principalmente, foi superior no plantio direto comparado ao preparo convencional no período analisado (Figura 19), o que pode ser devido principalmente à maior capacidade do solo no plantio direto de reter água, menor oscilação de temperatura do solo e maior capacidade de troca de cátions, notadamente nas camadas de 0-5 e 5-10 cm (Anexo 12).

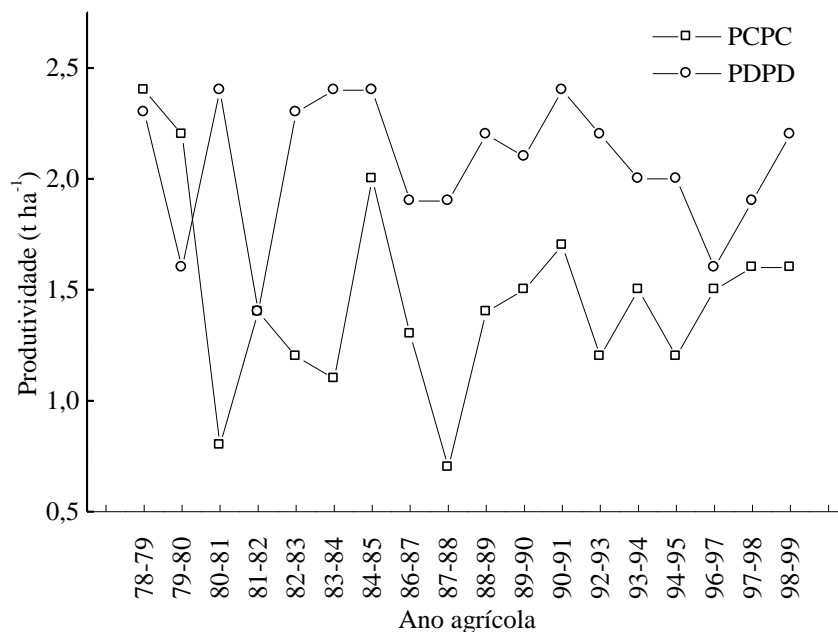


Figura 19. Produtividade de soja em 18 safras (1979-1999) nos sistemas preparo convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.

O milho também apresentou maior produtividade no plantio direto (Figura 20), explicado pelos mesmos motivos que na soja. O número de safras analisadas foi apenas quatro. Os preços maiores da soja no mercado agrícola explicam a menor presença do milho no esquema de rotação de culturas. Eltz et al. (1989), no mesmo experimento, também observaram superioridade da produtividade total de grãos, da ordem de 22%, no plantio direto em relação ao preparo convencional.

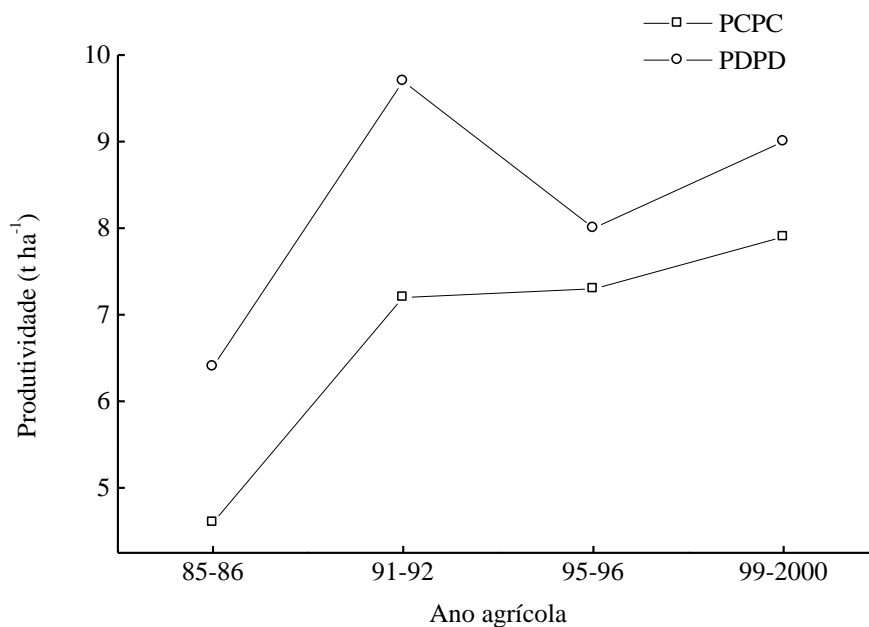


Figura 20. Produtividade de milho em 4 safras nos sistemas preparo convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.

A produtividade acumulada da soja, em 18 safras, no plantio direto foi 42% maior do que no preparo convencional e o milho apresentou produtividade acumulada 22% maior, em 4 safras (Quadro 6).

Quadro 6. Número de safras, produtividade acumulada e média das culturas utilizadas de 1978 a 2000 nos sistemas preparo convencional sem calcário (PC-PC) e plantio direto sem calcário (PD-PD). LB. Guarapuava, PR.

Cultura	Nº de safras	Acumulada		Média		$\frac{PD-PD}{PC-PC}$
		PC-PC	PD-PD	PC-PC	PD-PD	
		----- (t ha ⁻¹) -----				
Soja	18	26,0	37,0	1,44	2,06	1,42
Milho	4	27,0	33,0	6,75	8,25	1,22
Trigo	7	15,6	16,5	2,23	2,36	1,06
Cevada	7	13,5	14,5	1,93	2,07	1,07
Aveia	3	6,4	7,0	2,13	2,33	1,09

A superioridade da produtividade acumulada no plantio direto em relação ao preparo convencional foi verificada também nas culturas de inverno (trigo, cevada e aveia), sendo os acréscimos de aproximadamente 6% no trigo (7 safras), 7% na cevada (7 safras) e 9% na aveia (3 safras) (Quadro 6).

As culturas de inverno enfrentam mais problemas climáticos do que as de verão, principalmente geadas fortes, frequentes na região, e são cultivadas no período mais seco do ano, embora, de maneira geral, as chuvas sejam relativamente bem distribuídas ao longo do ano, o que pode explicar em parte os menores acréscimos na produtividade entre os sistemas analisados e ao longo das safras, como é o caso da cevada (Figura 21). A maior retenção de água no plantio direto torna-se assim uma característica importante para explicar os maiores rendimentos neste sistema.

A não mobilização do solo associada à maior produtividade das culturas no plantio direto pode ter favorecido o aumento dos teores de carbono orgânico neste sistema, comparado ao preparo convencional. Considerando uma mesma área e mesma variedade, culturas que têm maior produtividade, podem aumentar o aporte de resíduos culturais ao solo, mesmo considerando que as novas cultivares tenham sido melhoradas para produzir mais com menor parte vegetativa, comparadas às antigas, ou seja, com maior índice de colheita - IC

(massa de grãos/massa da parte aérea). Para o milho, segundo Mundstock (1999), o IC aumentou de 0,3, há cerca de 40 anos, para 0,5 nas culturas atuais.

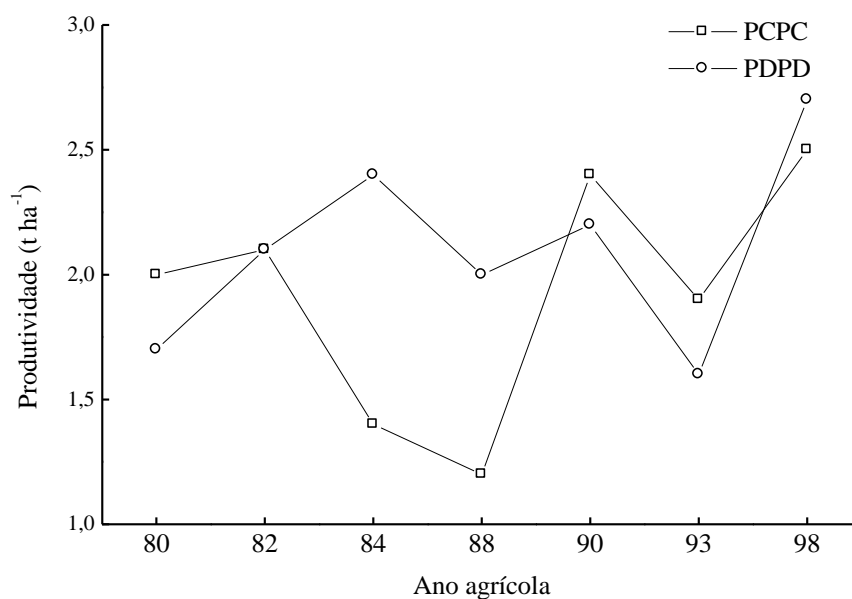


Figura 21. Produtividade de cevada em 7 safras nos sistemas preparo convencional sem calcário e plantio direto sem calcário. LB. Guarapuava, PR.

Jaster et al. (1993) salientam que a comprovação de efeitos residuais dos sistemas de manejo do solo através da comparação das produtividades é dificultada pois não é possível, sem modificar o esquema experimental, separar um efeito residual de um efeito imediato do solo, o qual se manifesta repetidamente na seqüência de culturas.

O retorno econômico de um empreendimento agrícola é um dos indicadores do seu sucesso. Atualmente, com as novas exigências dos mercados nacional e internacional (proteção e conservação do ambiente, alimentos produzidos com mínimo uso de agroquímicos etc.), outros indicadores têm sido contabilizados nas transações comerciais. Assim, pode-se

afirmar que o plantio direto, além de atender algumas dessas exigências, ainda permite geralmente maiores e mais estáveis rendimentos das culturas, o que pode, em última análise, em função dos preços agrícolas, se traduzir em maior lucro. Resultados de experimentos com sistemas de preparo do solo e com rotação de culturas, realizados no Paraná entre 1977 e 1984, mostraram que o plantio direto foi, com retorno médio de US\$ 146/ha, a partir do segundo ciclo de rotação de culturas, mais econômico do que os sistemas de produção tradicionais (retorno de US\$ 106/ha), como o preparo convencional (Derpsch, 1990).

4 – CONCLUSÕES

1. O uso do solo com lavouras anuais no sistema de preparo convencional durante 50 anos degradou a estabilidade da estrutura do solo, em relação à mata nativa, evidenciado pela redução do diâmetro médio geométrico.
2. A introdução de sistemas conservacionistas em 1978, na área que estava sendo cultivada com preparo convencional desde 1950, melhorou a estrutura do solo, demonstrado pelo maior diâmetro médio geométrico, carbono orgânico e cátions trocáveis, principalmente na camada de 0 a 10 cm, camada esta mais importante para o sistema radicular das plantas e relacionada a problemas de erosão hídrica.
3. A produtividade da soja, do milho, do trigo, da cevada e da aveia foi maior no sistema de plantio direto, em relação ao sistema de preparo convencional, devido às suas melhorias nas propriedades físicas e químicas do solo ao longo desses vinte anos.

Adicionalmente, a partir dos resultados deste estudo, pode-se comentar que:

- A alta estabilidade do solo da mata nativa foi devida ao elevado teor de argila e carbono orgânico, associados à mineralogia do solo, com forte presença de óxidos de alumínio e ferro, formando partículas do tamanho do silte (microagregados estáveis), estabilidade esta mantida pela não mobilização do solo;

- A coleta de agregados após a mobilização do solo pode conduzir a resultados diferentes em relação a coleta realizada em outro momento da utilização do solo para cultivo, pois na coleta de maio de 1999, no preparo convencional, os “agregados” coletados nesta condição resistiram à mobilização do solo e foram mais estáveis do que a massa de solo.

5 – LITERATURA CITADA

- ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D. J. & FIORIN, J. E. Variação temporal da estabilidade estrutural em Podzólico Vermelho-Amarelo. *Ciência Rural*, 24:275-280, 1994.
- ALBUQUERQUE, J.A. *Suscetibilidade de solos do Rio Grande do Sul à erosão em entressulcos*. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998. 156p. (Tese de Doutorado).
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P.R. & FONTANA, E.C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:295-300, 2000.
- AMEZKETA, E.; SINGER, M.J. & LE BISSONNAIS, Y. Testing a new procedure for measuring water-stable aggregation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:888-894, 1996.
- ANGERS, D.A. & GIROUX, M. Recently deposited organic matter in soil water-stable aggregates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 60:1547-1551, 1996.
- ANGULO, R.J.; ROLOFF, G. & SOUZA, M.L.P. Correlação entre diferentes formas de determinação e representação da estabilidade e resistência dos agregados do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:7-12, 1984.
- AOYAMA, M.; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A. & BISSONNETTE, N. Protected organic matter in water-stable aggregates as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Can. J. Soil Sci.*, 79:419-425, 1999.
- BARRAL, M.T.; ARIAS, M. & GUÉRIF, J. Effects of iron and organic matter on the porosity and structural stability of soil aggregates. *Soil Till. Res.*, 46:261-272, 1998.
- 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.
- CAROLINO DE SÁ, M.A.; LIMA, J.M.; SILVA, M.L.N. & DIAS JUNIOR, M.S. Índice de desagregação do solo baseado em energia ultra-sônica. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:525-531, 1999.

- 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.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE – CFS/RS-SC. *Recomendações de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 3. ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul/EMBRAPA, 1995. 224p.
- DEGENS, B.P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: a review. *Aust. J. Soil Res.*, 35:431-459, 1997.
- DERPSCH, R. *Controle de erosão no Paraná, Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo*. Eschborn, GTZ, 1990. 165-192p.
- DEXTER, A. R. Advances in characterization of soil structure. *Soil Till. Res.*, 11:199-238, 1988.
- EASH, N.S.; KARLEN, D.L . & PARKIN, T.B. Fungal contributions to soil aggregation and soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F. & STEWART, B.A., eds. *Defining soil quality for a sustainable environment*. Madison, SSSA, 1994. p.221-228. (Special Publication 35).
- EDWARDS, C. A. & BREMNER, J. M. Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 18:64-73, 1967.
- 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.
- EMERSON, W.W. The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.*, 10:235-244, 1959.
- 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.
- ERNANI, P. Nutrição e produtividade de espécies vegetais em sistemas de plantio direto e convencional. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 2., 1999, LAGES, SC. *Resumos da 2ª Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão*. Lages: UDESC/EPAGRI. 1999. p.19-30.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. *Expansão da área cultivada em plantio direto no Brasil*. 2000. Endereço eletrônico: http://www.agri.com.br/febrapdp_area_estados_96_99.htm.
- FERREIRA, M.M.; FERNANDES, B. & CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 23:515-524, 1999.
- FUNDAÇÃO AGRÁRIA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – FAPA. *Milho e soja: resultados de pesquisa*. 1998. 327-340p.

- GEE, G.W. & BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-411. (Agronomy, Monogr., 9).
- GIOVANNINI, G.; LUCCHESI, S. & CERVELLI, S. Water-repellent substances and aggregate stability in hydrophobic soil. *Soil Sci.*, 135:110-113, 1983.
- GUPTA, S. C.; SHARMA, P. P. & DEFRANCHI, S. A Compaction effects on soil structure. In: *Adv. Agron.*, 42:311-338, 1989.
- HILLEL, D. *Environmental soil physics*. Academic Press, inc. San Diego. 1998. p.101-123.
- JASTER, F.; ELTZ, F. L. F.; FERNANDES, F. F.; MERTEN, G. H.; GAUDÊNCIO, C. de A.; & OLIVEIRA, M. C. N. de *Rendimento de grãos em diferentes sistemas de preparo e manejo de solos*. Londrina: EMBRAPA-CNPSO, 1993. 37p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos. 61).
- KÄMPF, N.; AZEVEDO, A.C. & COSTA Jr., M.I. Estrutura básica de argilomineral 2:1 com hidróxi-Al entre camadas em Latossolo Bruno do Rio Grande do Sul. *R. Bras. Ci. Solo*, 19:185-190, 1995.
- KEMPER, W.D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L. eds. *Methods fo soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499-510. (Agronomy, Monogr., 9).
- KER, J.C. & RESENDE, M. Caracterização química e mineralógica de solos brunos subtropicais do Brasil. *R. Bras. Ci. Solo*, 14:215-225, 1990.
- KETTERINGS, Q. M.; BLAIR, J. M. & MARINISSEN, J. C. Y. Effects of earthworms on soil aggregate stability and carbon and nitrogen storage in a legume cover crop agroecosystem. *Soil Biol. Biochem.*, 29:401-408, 1997.
- KITTRICK J. A. & HOPE, E. W. A procedure for the particle-size separation of soils for X-ray diffraction analysis. *Soil Sci.*, 96:319-325, 1963.
- LE BISSONNAIS, Y. & ARROUAYS, D. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: II. Application to humic loamy soils with various organic carbon contents. *Eur. J. soil Sci.*, 48:39-48, 1997.
- LETEY J. Relationships between soil physical properties and crop production. In: *Adv. Soil Sci.*, 1:277-294, 1985.
- MAGALHÃES, A.F. & PAGE, A.L. Características das cargas elétricas dos solos da zona da Mata de Pernambuco. I - Determinação das cargas de superfície. *R. Bras. Ci. Solo*, 8:173-177, 1984.
- MATTOS, L.M. & SILVA, E.F. Influência das propriedades de solos e de pesticidas no potencial de contaminação de solos e águas subterrâneas. *Pesticidas: R. Ecotoxicol. e Meio Ambiente*, 9:103-124, 1999.

- MIELNICZUK, J. & SCHNEIDER, P. Aspectos socio-econômicos do manejo de solos no sul do Brasil. In: I Simpósio de manejo do solo e plantio direto no sul do Brasil e II Simpósio de conservação do solo do planalto. *Anais*. Passo Fundo, RS, 1984.
- MORELLI, M. & FERREIRA, E.B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. *R. Bras. Ci. Solo*, 11:1-6, 1987.
- MUGLLER, C.C.; PAPE, Th. & BUURMAN, P. Laser grain-size determination in soil genetic studies 2. clay content, clay formation, and aggregation in some brazilian oxisols. *Soil Sci.*, 162:219-228, 1997.
- MUGLLER, C.C.; VAN GRIETHUYSEN, C.; BUURMAN, P. & PAPE, Th. Aggregation, organic matter, and iron oxide morphology in Oxisols from Minas Gerais, Brazil. *Soil Sci.*, 164:759-770, 1999.
- MONDSTOCK, C.M. Bases fisiológicas para aumentar o rendimento do milho no sul do Brasil. *REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO*, 2., 1999, LAGES, SC. Resumos da 2ª Reunião Técnica Catarinense de Milho e Feijão. Lages: UDESC/EPAGRI. 1999. p.31-33.
- MUNNER, M. & OADES, J.M. The role of ca-organic interactions in soil aggregate stability. III. mechanisms and models. *Aust. J. Soil Res.*, 27:411-423, 1989.
- OADES, J.M.; GILLMAN, G.P. & UEHARA, G. Interactions of soil organic matter and variable-charge clays. In: COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. *Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems*. Honolulu: University of Hawaii, 1989. p.69-95.
- PÉREZ, D.V.; SIMÃO, S.M. & SALATINO, A. Identificação e caracterização da repelência à água em alguns solos brasileiros. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:197-207, 1998.
- PETERSON, J.B. Calcium linkage: a mechanism in soil granulation. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 12:29-34p. 1947.
- PETRERE, C.; SALET, R.L. & ANGHINONI, I. Produtividade de culturas nos sistemas plantio direto e convencional no Sul do Brasil. In: *REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO*, 1., 1996, Lages (SC). *Resumos expandidos*. Núcleo Regional Sul – SBCS, 1996. p.76-78.
- PICCOLO, A. & MBAGWU, J.S.C. Role of hydrophobic components of soil organic matter in soil aggregate stability. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1801-1810, 1999.
- PINHEIRO-DICK, D. & SCHWERTMANN, U. Microaggregates from Oxisols and Inceptisols: dispersion through selective dissolutions and physicochemical treatments. *Geoderma*, 74:49-63, 1996.
- REICHERT, J.M.; VEIGA, M. & CABEDA, M.S.V. Índices de estabilidade de agregados e suas relações com as características e parâmetros do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 17:283-290, 1993.

- REINERT, D.J. Recuperação de solos em sistemas agropastoris. In: DIAS, L.D.& MELLO, J.W.V., eds. *Recuperação de áreas degradadas*. Viçosa: UFV. Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.163-176.
- REINERT, D. J. & ELTZ, F. L. F. Plantio direto em áreas degradadas. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. *Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto*, Santa Maria, R.S., agosto de 1997. Pallotti. 1997. p.23-46.
- REZENDE, J.O. *Compactação e adensamento do solo, metodologia para avaliação e práticas agrícolas recomendadas*. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, 1997. (CD-ROOM).
- SAMAHA, M.J.; GUERREIRO, E. & SANTOS FILHO, J.I. A economia no plantio direto. *Instituto Agrônomo do Paraná*. Plantio direto: pequena propriedade sustentável. Londrina, 1998. 191-214p. Ilust. (IAPAR. Circular 101).
- SAS Institute Inc. *SAS/STAT Procedures Guide for Personal Computers*. Version 6, 3. ed. SAS Institute Inc., Cary, N.C.: 1990. 705p.
- SCHNITZER, M. Binding of humic substances by soil mineral colloids. In: HUANG, P.M. & SCHNITZER, M., eds. *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Madison, Soil Science Society of American, 1986. p. 77-101.
- 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.
- SILVA, I.F. & MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:311-317, 1998.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 63:1350-1358, 1999.
- SIX, J.; ELLIOT, E.T. & PAUSTIAN, K. Soil structure and soil organic matter: II. a normalized stability index and the effect of mineralogy. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:1042-1049, 2000.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- TAYLOR, S.A. & ASHCROFT, G.L. *Physical edaphology*. San Francisco, W.H. Freeman, 1972. 532p.
- TISDALL J. & OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.*, 33:141-163, 1982.
- WHITTIG, L.D. & ALLARDICE, W.R. X-Ray diffraction techniques. In: KLUTE, A., ed. *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.331-362. (Agronomy, Monogr., 9).

WOHLENBERG, E.V.; GONÇALVES, C.; DA SILVEIRA, M.J.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; SILVA, V.R & BRUM, A.C. Evolução da estabilidade de agregados de um solo arenoso sob diferentes sistemas de cultivo. In: *REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO*. 4 A 6 de novembro, Santa Maria, RS, Brasil, 1998.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*, 28:337-351, 1936.

III – CONCLUSÕES GERAIS

A mata nativa no estudo permitiu observar como o cultivo do solo altera o comportamento de suas propriedades em relação a uma condição original, ora degradando-as (preparos convencionais), ora recuperando-as (sistemas de plantio direto). A condição original é difícil de ser alcançada, mesmo porque as propriedades do solo são dinâmicas e variam no tempo e no espaço. Em alguns casos, pode ser até melhorada, a exemplo da fertilidade química e do carbono orgânico em profundidade. Marcante foi a constatação da complexidade que é avaliar um experimento de longa duração, como este, somado a uma visão conservacionista de uso do solo. Contudo, estudos indicam que o aumento da complexidade de um sistema, no caso o solo, é sinal de que ele está em recuperação da sua condição original ou ficar muito próximo dela. Isto dependerá das características intrínsecas do sistema, das condições ambientais (clima) e, fundamentalmente, do tipo de uso dado ao sistema solo.

A comparação preparo convencional vs plantio direto mostrou que, para as condições deste estudo, o preparo convencional, quando bem conduzido (uso de rotação de culturas, preparo do solo em umidade adequada etc.), pode ser até semelhante ao plantio direto, como observado para a forma da estrutura do solo. Entretanto, quanto à estabilidade da estrutura, o diferencial importante entre ambos os sistemas é o revolvimento do solo, que reduz a estabilidade dos agregados e afeta as outras propriedades a ela associadas.

As práticas agrícolas utilizadas no sistema de plantio direto e os conseqüentes resultados, destacando-se o não revolvimento do solo e a manutenção dos restos culturais na superfície do solo, foram decisivas para que as culturas apresentassem maiores produtividades em relação ao preparo convencional. Estas maiores produtividades podem ser resultado do acúmulo de carbono orgânico e de nutrientes na camada superficial do solo e à maior reserva de água nos sistemas conservacionistas.

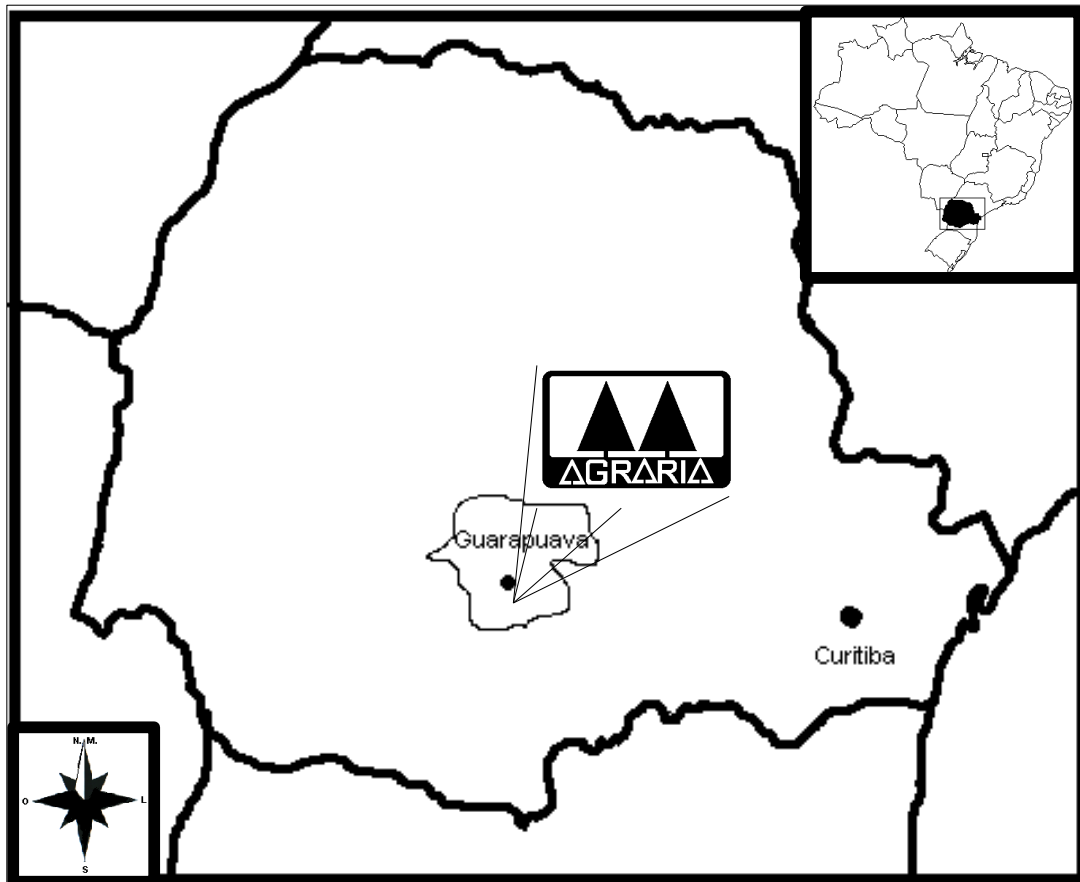
IV – LITERATURA CITADA GERAL

- ANJOS, J.T.; UBERTI, A.A.A.; VIZZOTTO, V.J.; LEITE, G.B. & KRIEGER, M. Propriedades físicas em solos sob diferentes sistemas de uso e manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 18:139-145, 1994.
- 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.
- CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C. & FONTES, L. E. F. *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do solo, 1993. 90p.
- DORAN, J. W. Soil quality and sustainability. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 26., Rio de Janeiro, 1997. *Anais*. Rio de Janeiro, 1997. (CD-ROOM).
- 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.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE PLANTIO DIRETO NA PALHA. *Expansão da área cultivada em plantio direto no Brasil*. 2000. Endereço eletrônico: http://www.agri.com.br/febrapdp_area_estados_96_99.htm.
- LAL, R. & PIERCE, F. J. The vanishing resource. In: LAL, R. & PIERCE, F. J., eds. *Soil management for sustainability*. Ankeny, Soil and Water Conservation Society, 1991. p.1-5.
- MACHADO, J. A. & BRUM, A. C. R. Efeitos de sistemas de cultivo em algumas propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 2:81-84, 1978.
- MACHADO, J. A.; PAULA SOUZA, D. M. & BRUM, A. C. R. Efeitos de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 5:187-189, 1981.
- MIELNICZUK, J.; RHEINHEIMER, D. S. & VEZZANI, F. M. Interações fertilidade e conservação do solo. In: Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas. Santa Maria, 2000. *Anais*. Santa Maria, 2000. (CD-ROOM).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 7:95-102, 1983.
- PÖTTKER, D. & BEN, J. R. Calagem para uma rotação de culturas no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:675-684, 1998.

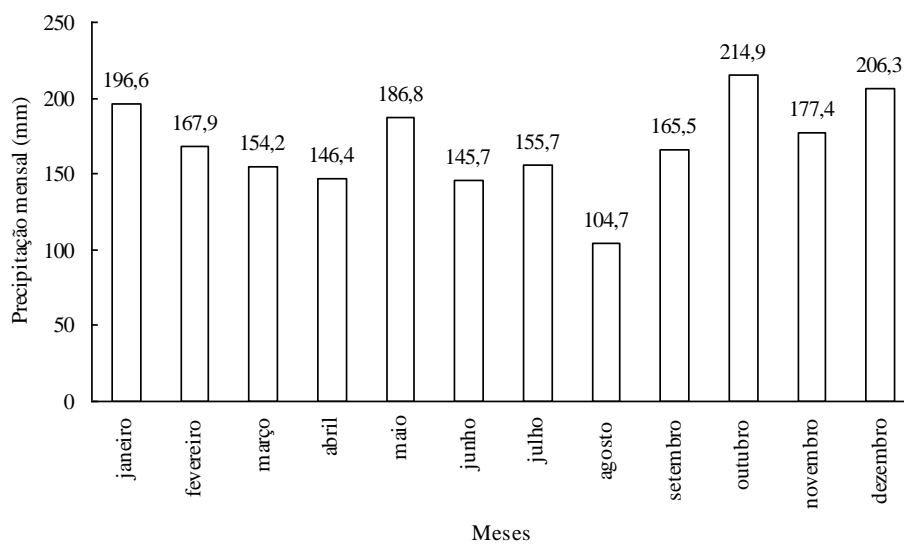
- REINERT, D. J. & ELTZ, F. L. F. Plantio direto em áreas degradadas. In: FRIES, M.R. & DALMOLIN, R.S.D., eds. *Atualização em recomendação de adubação e calagem: ênfase em plantio direto*, Santa Maria, R.S., 1997. Pallotti. 1997. p.23-46.
- TORMENA, C. A.; ROLOFF, G. & SÁ, J. C. M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. *R. Bras. Ci. Solo*, 22:301-309, 1998.

V – ANEXOS

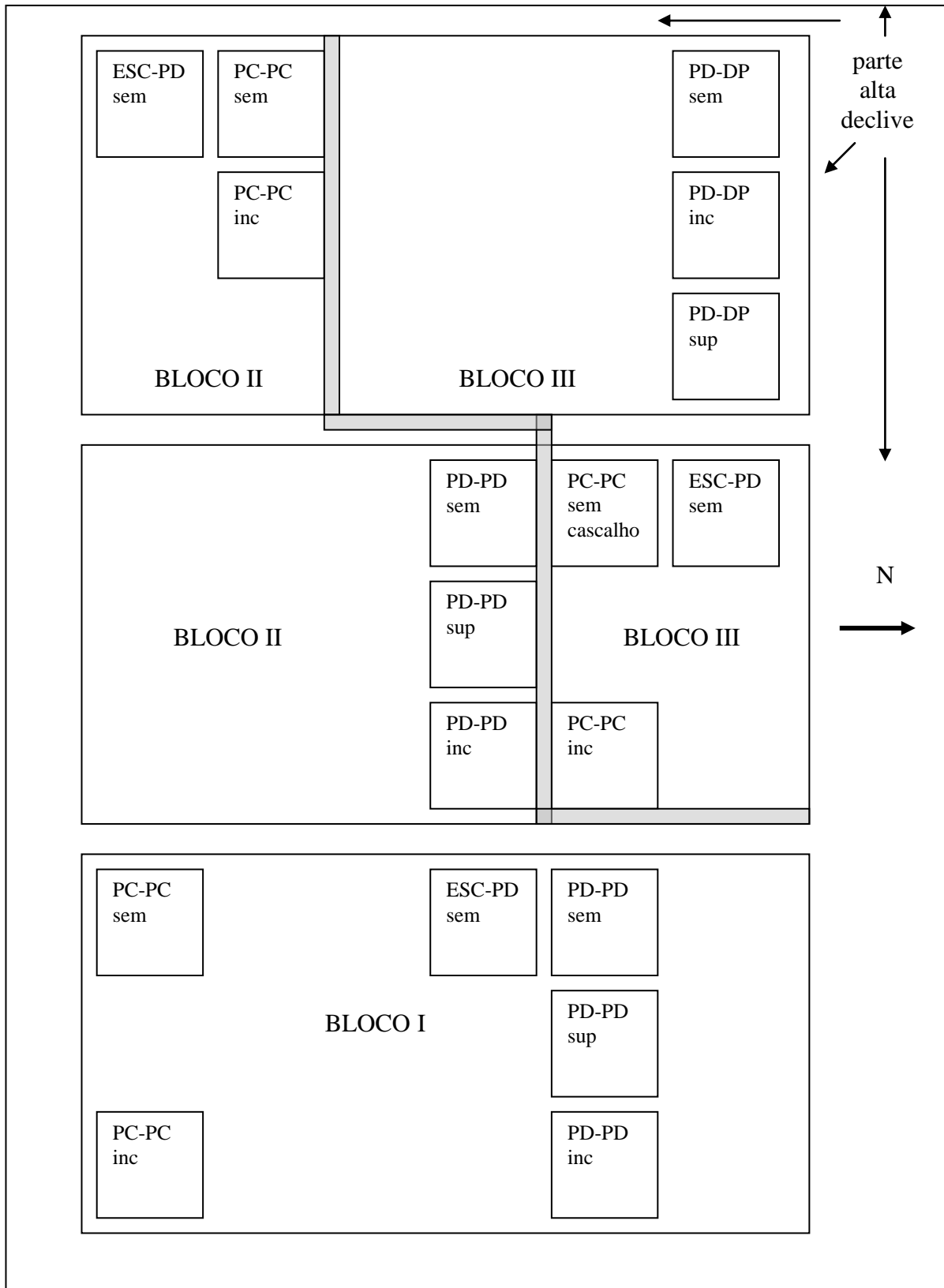
Anexo 1. Localização da Cooperativa Agrária Mista Entre Rios Ltda. Guarapuava, Paraná.



Anexo 2. Precipitação: médias mensais de 1976 a 1998 obtidas na estação meteorológica da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios - Guarapuava, Paraná.– latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W, altitude 1095m.



Anexo 3. Croqui de localização dos sistemas de manejo do solo na área experimental.
 Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios, Guarapuava, Paraná



Anexo 4. Temperatura (mínima e máxima), insolação e precipitação dos dias de determinação da temperatura do solo: 19 de setembro a 19 de outubro de 2000. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios, Guarapuava, Paraná. Estação meteorológica Entre Rios – latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W, altitude 1.095m.

Mês	Dia	Temperatura do ar (°C)		Insolação h	Precipitação (24h) mm
		Mínima	Máxima		
Setembro	19	15,0	21,0	1,5	0,0
	20	14,6	25,6	10,1	7,6
	21	15,4	26,8	11,1	0,0
	22	12,2	21,4	3,4	6,8
	23	12,2	24,0	6,0	3,0
	24	9,2	15,2	0,9	15,0
	25	2,2	17,2	11,5	17,2
	26	4,8	16,8	11,2	0,0
	27	5,8	18,4	10,5	0,0
	28	9,4	24,2	10,0	0,0
	29	13,0	24,2	7,5	0,0
Outubro	30	14,8	25,0	2,8	0,0
	01	14,0	23,6	6,7	9,0
	02	13,6	26,6	11,0	29,6
	03	15,0	27,4	11,1	0,0
	04	14,2	25,0	2,8	0,0
	05	11,2	21,2	8,0	51,0
	06	4,4	20,2	12,6	0,0
	07	5,0	24,8	12,3	0,0
	08	10,4	25,6	11,5	0,0
	09	12,0	27,2	10,7	0,0
	10	14,2	19,4	0,0	49,0
	11	13,2	24,6	7,0	5,4
	12	16,6	27,8	6,8	0,0
	13	13,2	21,4	0,0	15,0
	14	16,8	21,0	0,5	23,2
	15	15,4	21,0	3,5	10,0
	16	15,0	25,0	2,7	11,0
	17	16,0	21,4	1,4	9,0
	18	15,4	27,6	9,0	26,0
19	16,2	22,4	0,0	3,0	

Anexo 5. Informações meteorológicas do período de coleta das amostras para determinação da umidade do solo – 16 de novembro a 6 de dezembro de 2000. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária – Entre Rios, Guarapuava, Paraná. Estação meteorológica Entre Rios – latitude 25° 33' S, longitude 51° 29' W, altitude 1.095m.

Mês	Dia	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar	Precipitação (24h)
		Mínima	Máxima	(%)	(mm)
Novembro	16	9,4	25,4	41,0	0,0
	17	13,6	23,8	86,5	0,0
	18	9,8	21,8	97,5	27,0
	19	12,2	25,6	71,5	60,4
	20	16,0	25,2	80,5	2,0
	21	14,4	17,8	94,5	5,2
	22	13,4	26,4	80,3	9,6
	23	15,0	29,2	67,5	0,0
	24	16,2	23,8	96,5	0,0
	25	14,2	25,6	81,0	23,0
	26	13,8	25,4	80,5	0,0
	27	14,6	28,0	69,0	0,0
	28	16,2	29,2	60,3	0,0
	29	16,0	21,2	97,0	17,0
30	15,0	20,0	95,5	37,6	
Dezembro	01	12,4	20,4	87,8	12,0
	02	13,0	26,0	73,3	0,0
	03	14,2	28,0	66,5	0,0
	04	15,0	21,6	91,3	9,6
	05	13,2	24,6	69,3	0,2
	06	13,6	24,1	77,6	0,0

Anexo 6. Análise estatística da umidade volumétrica no solo sob sistemas de manejo por dia (16, 20, 23 e 27 de novembro e 3 e 6 de dezembro de 2000), nas camadas de 0-10 e 10-20 cm, Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, Entre Rio. LB. Guarapuava, PR.

Camada (cm)	Dia											
	16/11		20/11		23/11		27/11		3/12		6/12	
	Umidade volumétrica (m ³ m ⁻³)											
	Mata											
0-10	AB	0,43	AB	0,49	A	0,53	A	0,47	BC	0,40	AB	0,44
10-20	A	0,40	AB	0,45	A	0,39	A	0,42	A	0,41	AB	0,41
	PD-PD sem											
0-10	A	0,47	AB	0,49	A	0,49	AB	0,46	AB	0,47	A	0,48
10-20	A	0,44	AB	0,44	A	0,44	A	0,42	A	0,43	A	0,45
	PD-PD sup											
0-10	A	0,48	A	0,54	A	0,46	A	0,49	A	0,50	A	0,49
10-20	A	0,42	AB	0,43	A	0,47	A	0,40	A	0,34	AB	0,40
	PD-PD inc											
0-10	A	0,47	AB	0,50	A	0,46	ABC	0,44	AB	0,48	A	0,47
10-20	A	0,41	AB	0,43	A	0,40	A	0,40	A	0,41	AB	0,40
	ESC-PD sem											
0-10	A	0,45	ABC	0,47	A	0,46	ABC	0,43	AB	0,47	AB	0,43
10-20	A	0,40	B	0,39	A	0,41	A	0,38	A	0,31	B	0,38
	PC-PC sem											
0-10	B	0,36	C	0,41	A	0,41	C	0,36	C	0,37	B	0,39
10-20	A	0,42	AB	0,45	A	0,46	A	0,41	A	0,40	AB	0,43
	PC-PC inc											
0-10	B	0,36	BC	0,44	A	0,38	BC	0,37	ABC	0,42	B	0,39
10-20	A	0,40	A	0,48	A	0,42	A	0,42	A	0,45	AB	0,43
	Coeficiente de variação (%)											
0-10	7		6		15		7		6		6	
10-20	8		7		10		6		21		5	

Letras iguais dentro da mesma camada não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Anexo 7. Densidade do Latossolo Bruno na mata nativa e nos sistemas de preparo convencional no inverno e no verão sem calcário (PC-PC sem) e plantio direto no inverno e no verão sem calcário (PD-PD sem) em 2000 em relação aos resultados obtidos em 1986 por Eltz et al. (1989). Guarapuava, PR.

Sistema	Camada (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
	Mata nativa			
	0,89	0,93	0,93	0,93
	1986 (Eltz et al. 1989) ¹			
PC-PC	0,97	0,99	1,03	0,96
PD-PD	0,94	1,05	1,07	1,02
	2000 ²			
PC-PC sem	0,99	1,02	1,08	0,94
PD-PD sem	1,03	1,00	0,99	0,88

¹ Cilindro de Uhland – Forsythe (1975)

² Anel volumétrico – Blake & Hartge (1986)

Anexo 8: Coeficientes de variação (%) das propriedades estudadas nos sistemas.

Propriedade	Camada (cm)			
	0-5	5-10	10-20	20-40
Carbono orgânico	11	5	6	11
Densidade do solo	5	6	6	7
Diâmetro médio geométrico	16	17	27	29
Resistência à penetração	67	43	42	58
Condutividade hidráulica saturada	102	75	152	99
Microporosidade	3	3	2	4
Macroporosidade	31	25	30	25
Porosidade total	3	4	3	3
Umidade volumétrica	7	6	5	4
Espaço aéreo	16	18	16	14

Anexo 9. Temperatura diária, média, mínima, máxima e amplitude térmica (°C) do solo às nove horas no período de 19 de setembro a 19 de outubro de 2000, profundidade de 5cm em sistemas de uso e manejo do solo - LB, Guarapuava, PR.

Dia	Sistema de manejo do solo					
	PD-PD sem	PD-PD sup	PD-PD inc	ESC-PD sem	PC-PC sem	PC-PC inc
Setembro						
19	16,2	16,4	16,2	16,4	16,8	16,3
20	15,6	15,6	15,4	15,8	15,6	15,4
21	16,2	16,4	16,2	16,4	16,0	16,0
22	16,2	16,4	16,0	16,2	15,6	15,6
23	12,4	13,0	12,8	12,6	11,4	10,8
24	15,4	15,4	15,6	16,0	15,4	15,6
25	11,0	10,8	10,8	10,8	9,6	8,2
26	11,2	10,8	10,8	10,4	12,6	11,6
27	12,2	12,8	12,0	12,6	11,6	11,0
28	13,2	12,8	13,0	13,8	12,8	12,8
29	15,2	15,6	15,2	15,6	15,2	14,8
30	16,6	16,8	16,6	17,0	16,4	16,0
Outubro						
01	16,0	15,6	15,2	16,6	16,0	16,0
02	16,0	16,0	16,0	15,2	16,0	15,0
03	17,4	17,4	17,4	17,8	17,4	17,4
04	17,8	17,8	18,0	18,0	17,8	17,4
05	16,6	16,4	16,2	16,8	16,4	16,2
06	13,6	14,0	12,8	13,2	12,0	11,8
07	12,8	13,2,	12,0	12,8	11,4	10,8
08	14,2	14,8	13,8	14,4	13,8	13,2
09	15,8	15,4	15,4	16,0	14,2	15,0
10	17,0	17,6	17,2	17,8	17,2	17,0
11	16,8	17,0	16,6	17,0	16,8	16,4
12	18,0	18,2	18,0	18,4	18,0	18,0
13	18,4	18,8	18,4	17,8	18,2	18,2
14	17,0	17,2	17,0	17,4	17,2	17,0
15	17,4	17,4	17,6	17,8	17,8	17,8
16	17,6	17,6	18,2	18,0	17,8	17,8
17	18,0	18,2	18,4	18,4	18,2	18,0
18	17,6	18,0	18,4	17,9	18,0	17,9
19	17,8	18,0	18,4	17,8	18,4	18,2
média	15,7	15,9	15,7	15,9	15,5	15,3
mínima	11,0	10,8	10,8	10,4	9,6	8,2
máxima	18,4	18,8	18,4	18,4	18,4	18,2
amplitude	7,4	8,0	7,6	8,0	8,8	10,0

Anexo 10. Temperatura diária, média, mínima, máxima e amplitude térmica (°C) do solo às quinze horas no período de 19 de setembro a 19 de outubro de 2000, profundidade de 5cm em sistemas de uso e manejo do solo. LB, Guarapuava, Paraná – 2000.

Dia	Sistema de manejo do solo					
	PD-PD sem	PD-PD sup	PD-PD inc	ESC-PD sem	PC-PC sem	PC-PC inc
Setembro						
19	18,0	18,2	17,8	18,8	19,0	18,8
20	23,2	20,6	25,0	25,8	26,2	25,8
21	24,4	21,0	25,0	25,8	27,4	25,4
22	20,4	20,4	19,6	22,4	19,4	22,0
23	15,7	16,4	16,4	16,8	17,0	17,0
24	21,0	20,8	20,2	20,0	23,4	23,4
25	18,8	17,8	19,6	17,4	22,2	22,4
26	18,4	20,4	17,0	20,2	17,4	21,0
27	19,2	19,0	19,8	22,4	22,4	20,8
28	20,4	20,0	22,0	23,4	24,0	23,2
29	22,2	21,6	24,6	24,8	26,4	25,2
30	21,2	21,0	22,0	22,4	23,6	22,4
Outubro						
01	21,0	20,8	21,0	22,0	23,6	23,0
02	23,6	22,6	25,6	26,2	27,0	25,8
03	23,2	22,8	25,0	26,2	26,8	26,0
04	19,2	19,0	19,2	19,2	20,0	19,8
05	21,4	20,8	23,0	24,0	24,0	21,8
06	20,4	19,8	21,8	23,4	23,2	20,6
07	20,8	20,0	22,4	23,8	24,2	21,8
08	21,8	20,8	22,4	25,0	26,4	24,2
09	23,0	23,0	25,0	26,2	28,0	26,0
10	18,8	19,0	19,2	19,4	19,3	19,6
11	22,2	21,8	23,8	23,6	25,0	24,6
12	24,0	23,2	26,6	27,0	28,0	27,0
13	19,0	19,2	18,8	19,4	19,0	18,8
14	18,8	18,8	19,0	19,2	19,6	19,2
15	20,0	20,0	20,8	20,4	22,4	21,9
16	19,8	20,0	20,0	21,2	22,6	21,6
17	19,0	19,0	19,4	20,0	20,0	19,6
18	25,0	25,0	26,8	26,8	27,8	27,2
19	25,2	25,2	27,2	27,8	28,8	28,0
média	20,9	20,6	21,8	22,6	23,4	22,7
mínima	15,7	16,4	16,4	16,8	17,0	17,0
máxima	25,2	25,2	27,2	27,8	28,8	28,0
amplitude	9,5	8,8	10,8	11,0	11,8	11,0
amplitude 9-15 h	14,2	14,4	16,4	17,4	19,2	19,8

Anexo 11. Composição granulométrica¹ e classe textural² em sistemas de uso e manejo do solo e em profundidade. LB. Guarapuava – PR – 2000.

Prof.	Argila	Silte	Areia	Classe textural
cm	-----g kg ⁻¹ -----			
	Mata nativa			
0-5	670	262	67	Muito argilosa
5-10	606	311	82	Muito argilosa
10-20	695	225	81	Muito argilosa
20-40	633	256	111	Muito argilosa
	PD-PD sem: plantio direto no inverno e verão sem calcário			
0-5	559	382	59	Argilosa
5-10	596	337	67	Argilosa
10-20	608	326	66	Muito argilosa
20-40	730	206	64	Muito argilosa
	PD-PD sup: plantio direto no inverno e verão calcário superficial			
0-5	542	384	74	Argilosa
5-10	578	367	55	Argilosa
10-20	632	315	53	Muito argilosa
20-40	648	300	53	Muito argilosa
	PD-PD inc: plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado			
0-5	612	334	54	Muito argilosa
5-10	564	387	49	Argilosa
10-20	663	290	47	Muito argilosa
20-40	693	253	54	Muito argilosa
	ESC-PD sem: escarificação no inverno e plantio direto no verão sem calcário			
0-5	616	323	61	Muito argilosa
5-10	525	405	70	Argilosa
10-20	600	333	67	Muito argilosa
20-40	709	229	62	Muito argilosa
	PC-PC sem: preparo convencional no inverno e verão sem calcário			
0-5	595	329	75	Argilosa
5-10	573	351	76	Argilosa
10-20	671	254	75	Muito argilosa
20-40	655	295	50	Muito argilosa
	PC-PC inc: preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado			
0-5	539	394	67	Argilosa
5-10	538	399	64	Argilosa
10-20	604	333	63	Muito argilosa
20-40	705	237	58	Muito argilosa

¹ Método da pipeta

² Sistema brasileiro

Anexo 12. Cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Potássio (K), Alumínio (Al), Capacidade de troca de Cátions efetiva (CTCefetiva), soma de bases (SB), pH em água e cloreto de potássio e delta pH em sistemas de uso e manejo do solo e em profundidade, LB. Guarapuava – PR - 2000.

Sistema	Ca	Mg	K	Al	CTCefetiva	SB	pH		
							H ₂ O	KCl	ΔpH^1
-----cmol _c kg ⁻¹ -----									
0-5 cm									
Mata	4,4	1,9	0,40	1,8	8,4	6,68	4,8	4,5	-0,3
PD-PD sem	3,1	0,8	0,70	1,2	5,8	4,59	4,9	4,5	-0,4
PD-PD sup	6,0	1,5	0,62	0,3	8,4	8,09	5,4	4,9	-0,4
PD-PD inc	4,1	1,1	0,50	0,7	6,4	5,73	5,2	4,7	-0,5
Esc-PD sem	2,1	0,5	0,53	1,0	4,2	3,14	4,9	4,4	-0,5
PC-PC sem	1,6	0,3	0,41	1,0	3,4	2,33	5,1	4,5	-0,6
PC-PC inc	2,6	0,5	0,49	0,6	4,2	3,64	5,3	4,4	-0,9
5-10 cm									
Mata	1,1	0,7	0,20	2,7	4,7	2,03	4,8	4,1	-0,7
PD-PD sem	1,5	0,3	0,30	1,9	4,0	2,13	4,8	4,3	-0,6
PD-PD sup	3,8	0,7	0,27	1,0	5,7	4,74	5,2	4,6	-0,6
PD-PD inc	3,2	0,6	0,28	0,9	5,0	4,08	5,2	4,5	-0,6
Esc-PD sem	1,7	0,4	0,43	1,2	3,8	2,56	5,0	4,4	-0,6
PC-PC sem	1,8	0,4	0,42	1,0	3,6	2,57	5,1	4,5	-0,6
PC-PC inc	2,7	0,6	0,53	0,5	4,3	3,81	5,4	4,4	-1,0
10-20 cm									
Mata	0,6	0,4	0,16	3,0	4,1	1,17	4,8	4,1	-0,7
PD-PD sem	1,4	0,3	0,24	1,5	3,4	1,93	5,0	4,3	-0,7
PD-PD sup	3,2	0,6	0,20	1,2	5,1	3,98	5,2	4,5	-0,7
PD-PD inc	3,1	0,6	0,23	0,9	4,9	4,01	5,3	4,6	-0,7
Esc-PD sem	1,6	0,3	0,28	1,0	3,1	2,15	5,2	4,5	-0,7
PC-PC sem	1,9	0,4	0,40	1,0	3,6	2,66	5,2	4,5	-0,7
PC-PC inc	2,8	0,6	0,46	0,5	4,3	3,81	5,4	4,4	-1,0
20-40 cm									
Mata	0,2	0,2	0,16	3,4	4,0	0,58	4,7	4,0	-0,7
PD-PD sem	1,3	0,3	0,22	1,0	2,8	1,84	5,1	4,5	-0,6
PD-PD sup	2,1	0,4	0,27	1,1	3,9	2,77	5,2	4,5	-0,7
PD-PD inc	1,6	0,4	0,18	0,9	3,1	2,15	5,2	4,5	-0,7
Esc-PD sem	1,2	0,3	0,20	0,6	2,3	1,71	5,3	4,6	-0,7
PC-PC sem	1,3	0,3	0,25	0,7	2,7	1,91	5,3	4,6	-0,6
PC-PC inc	1,6	0,4	0,28	0,4	2,7	2,23	5,4	4,6	-0,8
Mínimo	0,2	0,2	0,2	0,3	2,3	0,6	4,7	4,0	-1,0
Máximo	6,0	1,9	0,7	3,4	8,4	8,1	5,4	4,9	-0,3
Média geral	2,3	0,6	0,3	1,2	4,4	3,2	5,1	4,5	

¹ $\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{KCl}} - \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$

VI - APÊNDICES

Apêndice 1. Carbono orgânico (CO), densidade do solo (DS), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e resistência à penetração (RP) por sistemas de manejo do solo, repetição e camada. LB. Guarapuava, PR - 2000.

Prof. (cm)	CO (g kg ⁻¹)			DS (Mg m ⁻³)			DMP (mm)			DMG (mm)			RP (kg cm ⁻²)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Repetição															
Mata nativa															
0-5	49	53	41	0,87	0,90	0,90	5,9	5,9	5,7	5,4	5,5	5,3	0,06	0,31	1,25
5-10	36	35	30	0,82	1,04	0,92	5,6	5,2	4,5	4,9	4,4	3,5	1,38	2,06	1,25
10-20	32	29	27	0,85	1,01	0,94	4,0	4,1	3,4	2,7	2,9	2,2	0,69	0,94	1,81
20-40	36	28	25	0,86	0,99	0,93	4,9	5,3	3,0	3,9	4,6	1,9	0,69	1,25	1,50
PD-PD sem - plantio direto no inverno e verão sem calcário															
0-5	53	37	43	0,98	1,06	1,06	5,5	4,8	4,2	4,4	3,9	2,8	0,63	0,50	1,75
5-10	40	35	34	1,00	1,04	0,96	4,4	4,6	2,5	3,1	3,6	1,6	1,50	1,94	2,69
10-20	35	32	34	0,97	0,96	1,03	2,9	3,0	1,6	1,8	1,9	1,0	1,19	1,81	1,81
20-40	27	27	33	0,84	0,96	0,86	3,5	3,8	2,0	2,3	2,7	1,3	0,88	1,25	2,94
PD-PD sup - plantio direto no inverno e verão com calcário superficial															
0-5	48	42	56	0,98	1,02	1,03	5,0	5,2	5,2	4,0	4,3	4,3	1,69	0,81	1,88
5-10	40	42	41	0,99	0,99	1,03	4,1	5,2	2,9	2,8	4,3	1,7	2,81	2,38	2,06
10-20	36	31	38	0,88	0,86	0,97	1,9	4,3	2,6	1,2	3,3	1,7	1,63	2,06	2,50
20-40	28	24	31	0,86	0,87	0,84	3,6	4,0	5,3	2,6	2,7	4,7	1,31	1,38	1,38
PD-PD inc - plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado															
0-5	48	48	47	1,00	1,01	0,94	4,6	5,2	4,1	3,4	4,2	2,9	2,19	2,19	1,38
5-10	41	39	39	1,01	0,94	0,93	4,1	3,6	3,5	2,8	2,3	2,3	2,63	3,00	2,00
10-20	38	39	37	0,86	0,90	0,88	3,1	2,7	2,8	1,8	1,5	1,8	2,31	1,69	1,88
20-40	29	33	30	0,85	0,82	0,85	4,1	2,7	4,2	3,0	1,6	3,0	0,88	0,63	1,19
ESC-PD sem - escarificação no inverno e plantio direto no verão sem calcário															
0-5	44	41	44	0,94	1,03	0,95	3,8	4,0	3,0	2,4	2,7	1,8	0,00	1,38	0,13
5-10	39	39	40	1,00	0,97	1,01	3,8	3,9	3,6	2,5	2,8	2,4	0,56	1,69	1,00
10-20	35	31	35	0,86	0,82	0,99	2,6	2,5	4,8	1,5	1,6	3,7	1,13	1,69	1,00
20-40	28	25	29	0,85	0,82	0,84	2,7	4,3	5,6	1,5	3,2	5,2	0,94	1,19	1,00
PC-PC sem - preparo convencional no inverno e verão sem calcário															
0-5	35	33	33	1,02	0,97	^a	2,4	2,8	3,5	1,3	1,6	2,0	0,44	0,50	0,63
5-10	35	34	32	1,05	1,00		3,0	3,1	3,7	1,7	1,7	2,2	1,38	0,38	1,81
10-20	35	34	32	1,07	1,05		3,7	3,1	3,6	2,4	2,0	2,4	1,50	0,63	2,19
20-40	29	27	30	1,05	0,85		3,8	4,8	3,2	2,6	4,0	2,2	1,19	1,00	^a
PC-PC inc - preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado															
0-5	36	33	36	1,07	1,03	0,90	2,8	2,3	4,6	1,6	1,3	3,5	0,81	0,00	0,06
5-10	37	33	38	1,04	0,95	0,90	2,9	2,8	3,6	1,7	1,6	2,3	2,44	0,69	0,13
10-20	36	33	38	1,04	1,07	1,02	3,7	2,4	3,4	2,4	1,4	2,0	1,88	0,56	0,06
20-40	32	31	35	0,91	0,88	0,85	4,5	3,1	2,9	3,4	2,0	1,7	1,38	1,44	0,94

^a Bloco não coletado devido a presença de cascalho.

Apêndice 2. Condutividade hidráulica saturada (Ks), umidade volumétrica (Uv), espaço aéreo (Ear), microporosidade (Micro), macroporosidade (Macro) e porosidade total (PT) por sistemas de manejo do solo, repetição e camada. LB. Guarapuava, PR - 2000.

Prof. (cm)	Ks (cm h ⁻¹)			Uv			Ear			Micro (m ³ m ⁻³)			Macro			PT		
	Repetição																	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mata nativa																		
0-5	26,1	6,1	7,7	0,30	0,36	0,37	0,34	0,27	0,29	0,43	0,46	0,45	0,22	0,17	0,21	0,64	0,63	0,66
5-10	4,9	0,2	5,5	0,35	0,41	0,36	0,31	0,19	0,29	0,49	0,46	0,45	0,17	0,14	0,19	0,66	0,60	0,64
10-20	5,4	2,2	2,5	0,34	0,38	0,39	0,32	0,25	0,24	0,47	0,45	0,47	0,18	0,18	0,16	0,66	0,63	0,63
20-40	2,3	1,2	4,0	0,36	0,40	0,37	0,31	0,24	0,29	0,45	0,46	0,44	0,23	0,18	0,22	0,68	0,64	0,66
PD-PD sem – plantio direto no inverno e verão sem calcário																		
0-5	7,5	3,8	1,8	0,41	0,39	0,40	0,21	0,20	0,20	0,47	0,45	0,45	0,15	0,14	0,15	0,62	0,59	0,60
5-10	4,0	4,2	5,1	0,42	0,41	0,40	0,19	0,18	0,24	0,47	0,45	0,45	0,14	0,15	0,19	0,61	0,59	0,64
10-20	2,1	29,0	2,8	0,45	0,39	0,45	0,16	0,23	0,16	0,49	0,43	0,48	0,12	0,19	0,14	0,61	0,62	0,61
20-40	1,3	13,1	19,2	0,46	0,43	0,45	0,21	0,19	0,24	0,52	0,46	0,47	0,15	0,16	0,22	0,66	0,62	0,69
PD-PD sup - plantio direto no inverno e verão com calcário superficial																		
0-5	4,5	36,7	28,2	0,42	0,39	0,41	0,20	0,22	0,19	0,48	0,44	0,44	0,14	0,17	0,16	0,62	0,61	0,60
5-10	1,1	1,1	12,5	0,42	0,47	0,43	0,18	0,15	0,18	0,46	0,49	0,46	0,14	0,13	0,15	0,60	0,62	0,61
10-20	3,8	2,4	1,4	0,44	0,48	0,47	0,19	0,20	0,16	0,48	0,51	0,49	0,15	0,17	0,14	0,63	0,68	0,63
20-40	6,1	1,9	3,9	0,44	0,47	0,48	0,21	0,21	0,21	0,48	0,49	0,51	0,17	0,19	0,18	0,65	0,68	0,69
PD-PD inc - plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado																		
0-5	3,5	6,6	3,7	0,43	0,41	0,37	0,16	0,20	0,28	0,48	0,48	0,42	0,11	0,14	0,23	0,59	0,62	0,65
5-10	7,6	5,6	12,5	0,44	0,45	0,43	0,13	0,21	0,22	0,48	0,49	0,47	0,9	0,17	0,19	0,57	0,65	0,66
10-20	4,0	0,8	18,5	0,46	0,45	0,45	0,18	0,19	0,20	0,50	0,49	0,49	0,14	0,15	0,17	0,64	0,64	0,66
20-40	1,5	1,9	1,1	0,46	0,45	0,47	0,17	0,23	0,23	0,50	0,50	0,50	0,13	0,18	0,20	0,63	0,68	0,70
ESC-PD sem - escarificação no inverno e plantio direto no verão sem calcário																		
0-5	5,3	2,2	6,7	0,38	0,37	0,37	0,24	0,21	0,25	0,46	0,44	0,46	0,16	0,14	0,16	0,62	0,58	0,62
5-10	1,0	1,1	8,6	0,46	0,47	0,41	0,14	0,14	0,19	0,49	0,49	0,45	0,11	0,12	0,15	0,60	0,61	0,60
10-20	2,0	10,2	1,5	0,46	0,47	0,45	0,20	0,22	0,16	0,51	0,49	0,48	0,15	0,19	0,13	0,66	0,68	0,61
20-40	1,3	4,8	13,0	0,46	0,47	0,44	0,22	0,22	0,23	0,51	0,49	0,48	0,17	0,19	0,19	0,68	0,68	0,68
PC-PC sem - preparo convencional no inverno e verão sem calcário																		
0-5	2,3	13,4	^a	0,37	0,33	^a	0,25	0,31	^a	0,47	0,41	^a	0,15	0,24	^a	0,62	0,64	^a
5-10	1,7	20,3		0,40	0,38		0,20	0,25		0,46	0,41		0,14	0,22		0,60	0,63	
10-20	1,0	3,1		0,41	0,42		0,17	0,18		0,47	0,44		0,11	0,16		0,58	0,60	
20-40	0,4	2,2		0,47	0,48		0,11	0,20		0,50	0,50		0,8	0,18		0,58	0,68	
PC-PC inc - preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado																		
0-5	0,8	6,9	25,3	0,40	0,35	0,33	0,20	0,27	0,34	0,46	0,41	0,40	0,13	0,20	0,27	0,59	0,61	0,67
5-10	1,5	19,4	24,3	0,40	0,36	0,38	0,20	0,28	0,29	0,46	0,41	0,41	0,14	0,23	0,25	0,60	0,64	0,66
10-20	1,2	9,8	1,3	0,41	0,44	0,41	0,20	0,14	0,21	0,46	0,45	0,45	0,15	0,13	0,17	0,61	0,58	0,62
20-40	0,3	7,9	1,0	0,49	0,48	0,44	0,17	0,19	0,25	0,53	0,50	0,48	0,14	0,17	0,21	0,66	0,67	0,69

^a Bloco não coletado devido a presença de cascalho.

Apêndice 3. Cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K), alumínio (Al) trocáveis, pH em cloreto de potássio (KCl), pH em água e delta pH por sistemas de uso e manejo do solo, repetição e camada. LB. Guarapuava, PR - 2000.

Prof. (cm)	Ca			Mg			K			Al			pH - KCl			pH - H ₂ O			ΔpH		
	----- (cmol _c kg ⁻¹) -----									Repetição											
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Mata nativa																					
0-5	2,3	3,4	7,5	1,0	1,4	3,2	0,43	0,37	0,40	2,7	2,3	0,3	4,2	4,3	5,0	4,5	4,6	5,4	-0,3	-0,3	-0,4
5-10	0,5	0,8	2,2	0,3	0,6	1,2	0,21	0,23	0,18	3,4	3,4	1,4	4,0	4,1	4,4	4,6	4,6	5,2	-0,6	-0,6	-0,8
10-20	0,1	0,1	1,5	0,1	0,2	0,9	0,16	0,17	0,16	3,7	3,5	1,7	4,0	4,0	4,3	4,5	4,6	5,2	-0,5	-0,6	-0,9
20-40	0,1	0,1	0,3	0,1	0,3	0,3	0,17	0,18	0,14	3,8	3,9	2,6	4,0	4,0	4,1	4,5	4,6	4,9	-0,5	-0,6	-0,8
PD-PD sem - plantio direto no inverno e verão sem calcário																					
0-5	2,7	3,9	2,8	0,7	0,8	0,7	0,47	0,71	0,93	1,6	0,7	1,2	4,3	4,7	4,5	4,7	5,0	5,0	-0,4	-0,3	-0,5
5-10	1,1	2,1	1,3	0,2	0,4	0,3	0,23	0,34	0,34	2,2	1,3	2,2	4,1	4,4	4,2	4,8	4,9	4,8	-0,6	-0,5	-0,6
10-20	1,1	2,0	1,1	0,2	0,3	0,3	0,18	0,28	0,27	1,4	1,1	2,0	4,3	4,5	4,2	5,0	5,1	4,8	-0,7	-0,5	-0,6
20-40	1,1	1,7	1,2	0,2	0,3	0,4	0,19	0,25	0,23	1,3	0,5	1,2	4,4	4,8	4,4	5,1	5,2	5,0	-0,7	-0,4	-0,6
PD-PD sup - plantio direto no inverno e verão com calcário superficial																					
0-5	7,1	5,0	5,9	1,3	1,3	1,7	0,48	0,80	0,59	0,3	0,4	0,3	5,0	4,9	4,9	5,4	5,3	5,3	-0,4	-0,5	-0,4
5-10	4,9	4,0	2,4	0,7	0,8	0,5	0,22	0,34	0,25	0,6	0,5	1,9	4,7	4,7	4,3	5,3	5,3	5,0	-0,6	-0,6	-0,7
10-20	2,2	4,7	2,6	0,3	1,1	0,5	0,15	0,27	0,19	1,3	0,5	1,7	4,4	4,8	4,3	5,1	5,4	5,1	-0,7	-0,6	-0,8
20-40	1,5	2,2	2,6	0,2	0,4	0,5	0,44	0,20	0,18	1,2	0,8	1,4	4,5	4,7	4,4	5,1	5,2	5,2	-0,6	-0,5	-0,8
PD-PD inc - plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado																					
0-5	4,2	4,1	4,2	1,1	1,1	1,1	0,59	0,63	0,29	0,8	0,6	0,6	4,6	4,8	4,7	5,2	5,2	5,3	-0,6	-0,4	-0,6
5-10	3,2	3,6	2,8	0,6	0,7	0,5	0,26	0,31	0,28	1,1	0,8	1,0	4,5	4,7	4,5	5,1	5,2	5,2	-0,7	-0,6	-0,7
10-20	3,9	3,3	2,3	0,8	0,8	0,4	0,18	0,22	0,28	0,6	0,7	1,3	4,6	4,7	4,4	5,5	5,3	5,1	-0,9	-0,6	-0,7
20-40	1,8	1,6	1,4	0,5	0,4	0,3	0,15	0,18	0,21	0,9	0,8	1,1	4,5	4,6	4,5	5,3	5,2	5,1	-0,8	-0,6	-0,7
ESC-PD sem - escarificação no inverno e plantio direto no verão sem calcário																					
0-5	1,7	2,6	1,9	0,5	0,6	0,5	0,49	0,53	0,56	1,7	0,7	0,8	4,3	4,3	4,5	4,8	4,9	5,1	-0,5	-0,6	-0,7
5-10	1,3	2,1	1,8	0,3	0,4	0,4	0,39	0,42	0,49	2,2	0,8	0,8	4,2	4,5	4,5	4,7	5,1	5,2	-0,4	-0,6	-0,8
10-20	1,0	1,8	1,9	0,1	0,4	0,5	0,22	0,32	0,29	1,4	0,9	0,6	4,6	4,5	4,6	5,0	5,2	5,4	-0,4	-0,7	-0,8
20-40	1,1	1,4	1,2	0,1	0,3	0,5	0,13	0,28	0,19	0,9	0,6	0,3	4,4	4,6	4,7	5,2	5,2	5,4	-0,8	-0,6	-0,7
PC-PC sem - preparo convencional no inverno e verão sem calcário																					
0-5	1,2	2,0	1,6	0,2	0,4	0,4	0,42	0,40	0,41	1,6	0,7	0,8	4,3	4,6	4,5	5,0	5,2	5,2	-0,7	-0,6	-0,7
5-10	1,4	2,2	1,7	0,3	0,4	0,4	0,39	0,43	0,44	1,7	0,6	0,8	4,2	4,6	4,5	4,9	5,2	5,2	-0,6	-0,6	-0,7
10-20	1,5	2,3	1,9	0,3	0,5	0,5	0,37	0,48	0,36	1,6	0,5	0,8	4,3	4,7	4,5	4,9	5,3	5,3	-0,7	-0,6	-0,8
20-40	1,2	1,4	1,4	0,3	0,3	0,4	0,24	0,31	0,20	1,6	0,2	0,4	4,3	4,9	4,7	5,0	5,3	5,4	-0,7	-0,4	-0,7
PC-PC inc - preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado																					
0-5	2,7	2,5	2,6	0,6	0,4	0,6	0,49	0,50	0,47	0,8	0,6	0,4	4,3	4,3	4,5	5,3	5,2	5,5	-1,0	-0,9	-1,0
5-10	2,6	2,6	2,9	0,6	0,5	0,7	0,48	0,55	0,55	0,7	0,5	0,3	4,3	4,4	4,5	5,3	5,3	5,5	-1,0	-0,9	-0,9
10-20	2,8	2,6	2,9	0,6	0,5	0,7	0,59	0,41	0,38	0,7	0,6	0,3	4,3	4,3	4,5	5,4	5,3	5,5	-1,1	-0,9	-1,0
20-40	1,8	1,5	1,5	0,4	0,3	0,4	0,44	0,20	0,19	0,8	0,4	0,1	4,3	4,5	4,9	5,4	5,3	5,5	-1,1	-0,8	-0,6

Apêndice 4. Argila total (NaOH), argila natural (H₂O), grau de flocculação, areia, silte e densidade de partícula em sistemas de uso e manejo do solo, repetição e camada. LB. Guarapuava, PR - 2000.

Prof. (cm)	Argila total			Argila natural			Grau de flocculação (g kg ⁻¹)			Areia			Silte			Densidade de partícula (Mg m ⁻³)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Repetição																		
Mata nativa																		
0-5	646	679	685	144	180	152	780	730	780	54	80	69	301	241	246	2,44	2,41	2,60
5-10	583	597	639	136	156	149	770	740	770	47	56	143	370	347	217	2,42	2,60	2,58
10-20	704	693	687	125	131	149	820	810	780	65	77	101	232	231	212	2,47	2,72	2,54
20-40	627	625	648	154	162	119	750	740	820	120	133	79	253	242	274	2,67	2,74	2,74
PD-PD sem – plantio direto no inverno e verão sem calcário																		
0-5	526	628	523	70	88	107	870	860	800	87	65	25	387	307	451	2,58	2,56	2,64
5-10	619	568	600	112	112	127	820	800	790	67	93	42	314	339	357	2,56	2,54	2,67
10-20	641	530	653	168	134	147	740	750	770	68	82	49	291	388	298	2,47	2,53	2,68
20-40	732	729	730	209	286	259	710	610	650	78	56	58	191	216	212	2,48	2,51	2,74
PD-PD sup - plantio direto no inverno e verão com calcário superficial																		
0-5	483	539	604	84	116	94	830	790	840	73	54	95	444	407	301	2,60	2,60	2,60
5-10	649	496	588	119	132	102	820	730	830	62	33	70	289	471	342	2,47	2,60	2,63
10-20	654	600	641	117	153	113	820	740	820	65	70	24	281	330	334	2,38	2,67	2,64
20-40	663	689	592	196	246	151	700	640	740	57	54	47	280	257	361	2,45	2,71	2,71
PD-PD inc - plantio direto no inverno e verão com calcário incorporado																		
0-5	692	581	562	86	100	114	880	830	800	58	80	23	250	339	414	2,47	2,64	2,68
5-10	561	549	582	112	128	146	800	770	750	57	48	41	381	403	378	2,33	2,70	2,71
10-20	667	699	625	139	152	142	790	780	770	73	32	36	260	269	339	2,41	2,53	2,57
20-40	663	685	730	201	249	238	700	640	670	65	52	46	272	263	224	2,27	2,56	2,78
ESC-PD sem - escarificação no inverno e plantio direto no verão sem calcário																		
0-5	615	623	609	81	103	109	870	830	820	68	63	52	317	314	339	2,45	2,45	2,50
5-10	510	494	572	95	99	147	810	800	740	69	78	64	421	429	364	2,54	2,50	2,54
10-20	629	523	647	144	126	218	770	760	660	75	67	59	296	410	294	2,54	2,60	2,57
20-40	743	634	751	248	174	327	670	720	560	60	66	59	197	300	191	2,64	2,58	2,60
PC-PC sem - preparo convencional no inverno e verão sem calcário																		
0-5	607	627	552	122	113	139	800	820	750	87	68	71	306	306	376	2,67	2,71	2,60
5-10	644	499	577	136	146	155	790	710	730	87	73	67	269	427	356	2,60	2,67	2,68
10-20	817	573	623	138	161	277	830	720	550	87	69	70	96	358	307	2,54	2,63	2,74
20-40	773	615	577	210	264	144	730	570	750	44	48	59	182	338	364	2,51	2,67	2,74
PC-PC inc - preparo convencional no inverno e verão com calcário incorporado																		
0-5	575	512	529	115	107	114	800	790	780	66	65	70	359	423	401	2,60	2,68	2,68
5-10	554	556	503	146	142	122	740	740	760	65	81	46	381	363	451	2,60	2,64	2,68
10-20	622	583	605	147	160	173	760	730	710	57	74	58	320	342	337	2,64	2,57	2,67
20-40	701	702	712	262	302	261	630	570	630	61	63	49	238	234	239	2,70	2,68	2,74