

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MATÉRIA ORGÂNICA EM
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CULTIVO MÍNIMO

MARLENE CRISTINA DE OLIVEIRA LAURINDO

CASCATEL – Paraná – Brasil

Julho – 2006

MARLENE CRISTINA DE OLIVEIRA LAURINDO

**PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO E MATÉRIA ORGÂNICA EM
SISTEMAS DE PLANTIO DIRETO E CULTIVO MÍNIMO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em **Engenharia de Sistemas Agroindustriais**.

Orientador: Prof^o. Dr. Joaquim Odilon Pereira

Co-Orientadora: Prof^a Dra. Lúcia Helena

Pereira Nóbrega

CASCADEL – Paraná – Brasil

Julho – 2006

MARLENE CRISTINA DE OLIVEIRA

“Propriedades físicas do solo e matéria orgânica em sistemas de plantio direto e cultivo mínimo”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação “*stricto sensu*” em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Sistemas Agroindustriais, **aprovada** pela seguinte banca examinadora:

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Lúcia Helena Pereira Nóbrega
UNIOESTE/CCET – Cascavel - PR

Prof. Dr. Arno Udo Dallmeyer
UFSM – Santa Maria - RS

Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza
UNIOESTE/CCET – Cascavel – PR

Prof. Dr. Décio Lopes Cardoso
UNIOESTE/CCET – Cascavel – PR

Cascavel, 24 de julho de 2006

DEDICATÓRIA

A Deus, que me proporcionou esse momento.

Ao meu esposo Éderson Luiz Laurindo pela compreensão e apoio.

A meus filhos Vinicius e Amanda.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela saúde, coragem e força para enfrentar os desafios.

Ao meu orientador, Professor Joaquim Odilon Pereira, pela orientação, ensinamentos e incentivos permanentes que tanto contribuíram para minha formação.

A minha co-orientadora Professora Lúcia Helena Nóbrega, pela colaboração, apoio, amizade e pelas correções que ajudaram a melhorar esta dissertação.

A UNIOESTE, pela oportunidade de realização do programa de pós-graduação nível de mestrado na área de Engenharia Agrícola.

A todo o corpo docente do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola da UNIOESTE-Cascavel.

Aos colegas, em especial a Adriana Meneghetti, Dirceu de Melo, Andréia Bonini, Leila Piacentinni, Janete Chimbida e Ednéia S. de O. Lourenço pelo apoio, colaboração e amizade que tanto me ajudaram em momentos difíceis.

A Lílian Daminelli que muito colaborou na formatação desse trabalho.

Aos familiares e amigos que de uma forma ou outra contribuíram para este trabalho.

Em especial à minha família, que me incentivou nos momentos de dificuldades e que abdicaram dos momentos de lazer e convivência diária possibilitando a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	página
LISTA DE TABELAS.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Efeito do manejo nas propriedades físicas do solo.....	3
2.2 Influência da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Localização e caracterização da área de estudo.....	18
3.2 Experimentos.....	18
3.2.1 Efeito do manejo nas propriedades físicas do solo.....	18
3.2.1.1 Coleta e análise dos dados.....	20
3.2.1.2 Determinação das propriedades físicas do solo.....	20
3.2.1.3 Densidade do solo.....	20
3.2.1.4 Densidade de partículas.....	21
3.2.1.5 Determinação da porosidade do solo.....	22
3.2.1.6 Densidade textural.....	22
3.2.1.7 Porosidade textural.....	25
3.2.1.8 Índice de vazios estrutural.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
4.1 Granulometria.....	26
4.2 Densidade Textural.....	26
4.3 Densidade do solo.....	31
4.4 Densidade de partículas.....	32
4.5 Porosidade do solo.....	33
4.6 Teores de carbono orgânico no solo.....	35
5 CONCLUSÕES.....	38
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39

LISTA DE TABELAS

		página
	Valores de argila, silte e areia em porcentagem nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade.....	26
Tabela 02	Valores de densidade do solo (g.cm^{-3}), nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm, em função dos sistemas de cultivo.....	31
Tabela 03	Valores de densidade do solo (g.dm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20cm, no sistema de cultivo mínimo antes da semeadura e após a colheita da cultura do trigo.....	32
Tabela 04	Valores de densidade de partículas do solo (g.dm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20cm.....	33
Tabela 05	Valores de porosidade total do solo (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20cm, no sistema de plantio direto cultivo mínimo antes da semeadura da cultura do trigo.....	33
Tabela 06	Valores de porosidade total do solo (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20cm no sistema de cultivo mínimo após a colheita da cultura do trigo.....	35

LISTA DE FIGURAS

	página
Figura 01 Sistema para determinação dos pesos hidrostáticos dos agregados P1.....	23
Figura 02 Sistema para determinação dos pesos hidrostáticos dos agregados P2.....	24
Figura 02 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 0-5cm.....	27
Figura 03 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 5-10cm.....	28
Figura 04 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 10-15cm.....	29
Figura 05 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 15-20cm.....	30
Figura 06 Valores de carbono orgânico no solo (g dm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, no sistema plantio direto antes da semeadura no sistema plantio direto e cultivo mínimo após a colheita do trigo.....	35

LISTA DE ABREVIATURAS

PD	Plantio Direto;
CM	Cultivo Mínimo;
COODETEC	Cooperativa de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico;
M_{s_s}	Massa de solo seco;
γ_s	Densidade do solo;
M_s	Peso do solo seco;
V_C	Volume do anel volumétrico;
γ_p	Densidade de partículas;
m_o	Massa do picnômetro;
m_1	Massa do picnômetro com solo após secagem em estufa;
m_2	Massa do picnômetro com solo e água destilada;
m_3	Massa do picnômetro com água destilada até a marca estabelecida;
e_T	Índice de vazios total;
V_a	Volume de agregados;
M	Massa dos agregados imersos no querosene;
γ_q	Densidade do querosene;
γ_t	Densidade textural;
m_a	Massa de agregados secos;
e_t	Índice de vazios textural;
e_s	Índice de vazios estrutural.
AS	Antes da sementeira
AC	Após colheita

RESUMO

Propriedades físicas em sistemas de manejo plantio direto (PD) e cultivo mínimo (CM) foram avaliadas em área experimental de Terra Roxa Estruturada localizada no município de Foz do Iguaçu, região Oeste do Paraná, com histórico de cinco anos de plantio de trigo sob PD. As amostras foram coletadas antes da semeadura do trigo e após a colheita para determinação de densidade de partículas, densidade do solo, porosidade total, densidade textural e teor de carbono orgânico do solo nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm. Através da densidade textural se determinou os valores de densidade do solo no estado de limite de saturação e no limite de retenção de água, correspondente a faixa de friabilidade e maior estabilidade de agregados para cada profundidade analisada. O sistema de PD apresentou maior teor de carbono orgânico e maior densidade do solo. Os valores de densidade de partículas aumentaram com a profundidade, bem como a porosidade total. O sistema CM apresentou maiores valores de porosidade nas camadas superficiais, porém contribuiu para redução da porosidade nas camadas de 10-15 e de 15-20cm de profundidade.

Palavras chave: sistema de cultivo, carbono orgânico do solo, densidade do solo

ABSTRACT

Organic matter regarding physical properties of soil on no-tillage and minimum tillage systems

The physical properties on No-Tillage (NT) and Minimum Tillage (MT) management systems were analyzed in a Rhodic Kandiodox soil from an experimental area in Foz do Iguaçu, Westerner of Paraná, whose wheat production term has been of five years under NT system. Samples were collected before wheat seeding and after its crop to record the particles densities, soil density, total porosity, textural density and organic carbon content from soil, regarding these depths: 0-5; 5-10; 10-15 and 15-20 cm. Textural density supported the answers for determining values of soil density on its limit of saturation phase as well as on its water retention limit, related to friability range and to the best aggregate stability to each analyzed depth. The NT system showed greater content of organic carbon, as well as greater soil density. The results regarding particles density increased with depth, as well as total porosity while MT system showed greater answers of porosity on upper layers, even though it contributed on reducing porosity from 10-15 and 15-20 cm layers of depths.

Keywords: organic carbon of soil, soil density, tillage systems.

1 INTRODUÇÃO

O solo é resultado de um processo complexo de reações químicas, físicas e biológicas sob o qual intervêm fatores como, clima, tempo, seres vivos e a topografia. Dos processos de desagregação e decomposição resulta a fração mineral do solo.

A qualidade do solo foi definida como a capacidade de determinada classe de solo para sustentar a produtividade vegetal e animal, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água, e ser suporte para a vida saudável do homem, dentro dos limites de ecossistemas naturais ou manejados (IMHOFF, 2002).

A estrutura do solo é um dos atributos mais importantes para a adaptação das espécies e pode ser avaliada pela densidade do solo, macro e microporosidade, estabilidade de agregados, resistência do solo e permeabilidade, entre outros. Estes atributos podem ser utilizados como indicadores de adensamento, compactação, encrostamento e susceptibilidade a perda da produtividade e degradação ambiental. O fornecimento contínuo de material orgânico pelos restos culturais e /ou excreções radiculares, cujos subprodutos são constituídos por moléculas orgânicas em diversas fases de decomposição, atua como agente de formação e estabilização dos agregados, proporcionando melhor estruturação do solo.

A busca por elevada produtividade e melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo faz com que sejam necessários estudos que avaliem sistemas de manejo. Os sistemas de manejo do solo têm a finalidade de criar condições favoráveis ao desenvolvimento das culturas.

O solo cultivado tem alteradas suas propriedades físicas em relação ao solo não cultivado. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais

de preparo que nos conservacionistas, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

Se o cultivo intensivo é o responsável pela degradação da estrutura do solo, facilitando a ação dos elementos, clima, homem e máquinas, sua redução com o acúmulo de resíduos orgânicos na superfície do solo provavelmente irá reverter tal situação (CORSINI & FERRAUDO, 1999).

Um outro fator importante é a matéria orgânica do solo, pois provém, em quase sua totalidade, de resíduos vegetais cuja composição média varia entre as diferentes espécies de vegetais e, dentro da mesma espécie, com a idade e nutrição da planta.

Uma das propriedades afetadas pela matéria orgânica é a densidade do solo, relação entre a massa e volume. Quanto maior o número de poros (macroporos) tiver o solo, menor será sua densidade. A matéria orgânica tem o poder de flocular o solo, abrir espaços, evitando a compactação e, por isto, diminuir a massa em relação ao volume. Além disto, a matéria orgânica, em si, tem densidade menor do que a matéria mineral.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar propriedades físicas e matéria orgânica do solo através da densidade do solo, densidade de partículas teor de carbono orgânico e porosidade total do solo em sistema de plantio direto e cultivo mínimo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Efeito do manejo nas propriedades físicas do solo

Para DALLA ROSA (1981), uma das práticas para reduzir a densidade do solo e a resistência à penetração de raízes, a fim de aumentar a permeabilidade e reduzir o encharcamento em terrenos planos é a escarificação.

BONFANTE (1983), desenvolveu trabalho em Latossolo Vermelho Escuro, no Centro de Pesquisa de Trigo, EMBRAPA, Passa Fundo, com o objetivo de avaliar o efeito do sistema de manejo do solo: preparo convencional, preparo mínimo com grade pesada, preparo mínimo com arado cinzel mais grade leve e semeadura direta na sucessão de culturas trigo—soja, sobre algumas propriedades físicas do solo. A semeadura direta por três e seis anos apresentou maior estabilidade dos agregados, porosidade, matéria orgânica e menor densidade do solo que o preparo convencional do solo. O preparo com grade pesada apresentou maior estabilidade dos agregados que o preparo com escarificador tipo pé-de-pato e preparo convencional. A proteção superficial do solo com restos culturais e menor mobilização do solo aumentaram a estabilidade de agregados, porosidade, matéria orgânica e diminuíram a densidade do solo.

VIEIRA & MUZILLI (1984), em ensaio realizado em Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa, comparando o sistema de preparo convencional e plantio direto, sob três rotações de cultura, durante quatro anos, na região centro-sul do Paraná, concluíram que o plantio direto aumentou significativamente a densidade e a microporosidade do solo, com conseqüente redução da porosidade total e macroporosidade.

RADCLIFFE, TOLLNER & HARGROVE (1988), repetindo os sistemas de preparo do solo convencional, duas vezes por ano, com preparo convencional, uma vez por ano e o plantio direto, instalando culturas sucessivas de trigo no inverno e soja na primavera, verificaram, após dez anos, que o plantio direto apresentou compactação superficial de 0,10 a 0,20 m, com pico nos valores do índice de cone a 0,15 m, atribuindo este fato ao tráfego ou aos efeitos residuais de operações anteriores à instalação do ensaio. A densidade do solo foi significativamente maior no sistema de plantio direto ($1,6 \text{ g.cm}^{-3}$) do que no preparo convencional de duas vezes por ano ($1,4 \text{ g.cm}^{-3}$).

HERMAN & CAMEROM (1993), estudando o efeito do preparo convencional e do cultivo mínimo, sobre a estabilidade de agregados, volume de poros, densidade do solo, infiltração de água e resistência a penetração em um solo argiloso, concluíram que o sistema de preparo convencional propicia um rápido aumento da macroporosidade e da porosidade total na faixa de 0 a 0,25 m de profundidade do solo cultivado. No entanto, esta prática de preparo de solo resultou na compactação do solo determinada pela menor porosidade, maior densidade do solo e maior resistência à penetração comparada com aquela obtida no cultivo mínimo.

Para MORAES & BENEZ (1996), em sistemas de semeadura direta, como o solo praticamente não é revolvido, há uma tendência ao adensamento na camada superficial, resultando em aumento da densidade do solo e da microporosidade, diminuição da porosidade total e, sobretudo, da macroporosidade.

BALL et. al. (1997), observaram maior número de macroporos, maior infiltração, difusão de gases e permeabilidade do ar em curto tempo em solos com cultivo mínimo. Essa melhora sugere redução de pressão sobre o solo, quando comparado com o sistema convencional.

CORSINI & FERRAUDO (1999) observaram que a porosidade total e a distribuição dos poros pelo tamanho são características físicas do solo indiretamente relacionadas à estrutura, e podem ser avaliadas em termos de densidade e macroporosidade do solo. A macroporosidade revela-se como um

índice bastante útil na avaliação das modificações estruturais do solo. Entretanto, reflete mais a condição do solo no momento e local da amostragem do que uma condição final permanente.

STONE & SILVEIRA (1999) relataram que o solo no sistema de plantio direto geralmente apresenta maiores valores de densidade do solo e microporosidade, e menores valores de macroporosidade e porosidade total, nas camadas superficiais do perfil, em comparação com o preparo convencional. Isto é decorrente, principalmente, do não revolvimento do solo e da movimentação de máquinas e implementos agrícolas, sobretudo quando realizada em solo com teores elevados de argila. Com o passar dos anos, a densidade pode vir a diminuir, devido, em parte, ao aumento do conteúdo de matéria orgânica na camada superficial, favorecendo a melhoria da estrutura do solo.

Para VARELA & MEZA-MONTALVO (2000), avaliando os sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo decorrentes de erosão hídrica na cultura do milho, concluíram que o sistema cultivo convencional foi o que apresentou maiores perdas de solo enquanto o cultivo mínimo, a menor. Em termos quantitativos, verificou-se que o sistema convencional provocou perdas de solo aproximadamente duas vezes maior que o plantio direto, e aproximadamente três vezes maior que o sistema de cultivo mínimo, que apresentou maior escoamento superficial e o plantio direto menor escoamento.

DIAS JUNIOR & MIRANDA (2000), analisando as curvas de compactação de cinco solos da região de Lavras, observaram que à medida que a umidade gravimétrica aumenta, a densidade do solo aumenta também, até atingir valor máximo e, a seguir, diminui devido à baixa compressibilidade da água. Em relação ao teor de areia, ocorre aumento de densidade do solo à medida do aumento da fração areia, esse fato pode ser atribuído à maior capacidade de organização das partículas do solo devido à forma irregular dos grãos de areia.

Segundo SILVA et al. (2000) a reestruturação do solo depende do sistema de manejo que será usado no preparo do mesmo. A adoção de manejo que mantenha a proteção do solo através do contínuo aporte de resíduos orgânicos é

fundamental para manutenção da boa estrutura. O contínuo fornecimento de material orgânico serve como fonte de energia para a atividade microbiana, a qual atua como agente de estabilização dos agregados. Nesse sentido o sistema de plantio direto propicia agregados maiores e mais resistentes na camada superficial.

Para CORRÊA (2002) sistemas que adotam menor revolvimento do solo e adição de palhada sobre a superfície podem deter o declínio da qualidade estrutural dos solos cultivados, bem como promover a recuperação dos já degradados. O plantio direto proporciona maior tamanho de agregados estáveis, quando comparado com o preparo convencional do solo, possivelmente, devido à não destruição mecânica dos agregados pelos implementos de preparo do solo, e a proteção que a palha oferece à superfície do solo. O cultivo intensivo, por favorecer maior taxa de oxidação, resulta na diminuição do teor de matéria orgânica do solo. Essas alterações provocam redução na estabilidade dos macroagregados e aumento na dispersão das argilas, uma vez que o acúmulo de agregados, nas classes inferiores a 1 mm de diâmetro, ocorre porque esses agregados são instáveis ao rápido umedecimento. Em contrapartida, a manutenção dos restos culturais sobre a superfície do solo favorece o desenvolvimento dos agregados maiores que 2 mm.

LANGE (2002) ressaltou que em muitos casos, tem-se observado aumento da densidade do solo na camada superficial em sistema de plantio direto, entretanto valores maiores de densidade do solo são observados na camada de 0 a 0,2 m, ao passo que em preparo convencional isto ocorre na camada de 0,2 a 0,3 m. Somente com densidade do solo maior que $1,2 \text{ gcm}^{-3}$ é comum haver dificuldades no crescimento das raízes em Latossolos Vermelho Distrófico Típico. À medida que se adiciona matéria orgânica ao solo, a atividade microbiana é estimulada, resultando em produtos que atuam na formação e estabilização dos agregados. Como consequência, promove melhoria na estrutura do solo. Os resíduos culturais, ao decomporem-se, também liberam compostos orgânicos que atuam como agentes agregantes do solo, melhorando sua estrutura. O sistema de plantio direto concentra a maior porcentagem de agregados estáveis em água na

classe de maior diâmetro, enquanto o preparo convencional concentra-os na classe de menor diâmetro. Esses resultados são explicados pelo efeito do preparo do solo que durante anos fracionou os agregados em unidades menores.

PEREIRA (2002), avaliou as variações da resistência do solo à penetração, no cultivo mínimo (escarificação mais semeadura) e plantio direto, em área que já era cultivada há dez anos sob plantio direto com alternância das culturas de soja e milho, em Latossolo Roxo Distroférico, com textura argilosa, com teores de água do solo de 33, 37 e 39%, na cultura do milho. Foi avaliada a resistência à penetração com uso de penetrógrafo, antes e imediatamente após o preparo do solo e após a colheita. A compactação do solo foi avaliada em termos de resistência do solo à penetração nos níveis de profundidade de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20; 0,15 e 0,30 m, nos sistemas de cultivo. Os autores concluíram que o teor de água de 33% propiciou redução da resistência do solo à penetração, em ambos os sistemas, com diminuição maior no sistema cultivo mínimo. Os teores de água 37 a 39%, propiciaram aumento da resistência do solo nos dois sistemas de cultivo com acréscimo maior no sistema de plantio direto.

GOEDERT, SCHERMACK & FREITAS (2002) avaliaram a compactação do solo em área cultivada com sistema de plantio direto e observaram que o adequado manejo do solo pode minimizar ou mesmo eliminar os efeitos compactantes advindos do tráfego de máquinas e implementos agrícolas.

SILVA & SILVEIRA (2002), trabalhando com vários sistemas de rotação de cultura e preparo do solo, analisaram a porosidade total, macroporosidade e microporosidade no final do quarto e quinto ano de instalação do experimento. Os resultados de porosidade total, macroporosidade, microporosidade do solo, independentemente das profundidades amostradas, apresentaram diferenças significativas somente no quarto ano de manejo. Embora a porosidade seja considerada uma característica dinâmica, alternando-se com o manejo do solo, não é alterada com poucos anos de manejo. Em referência a Machado et al (1981) que trabalhando com Latossolo Vermelho escuro, pode-se ressaltar que os referidos autores não constataram, alterações nas características físicas nos primeiros quatro anos, a partir do oitavo ano, houve alterações na porosidade

total, macroporosidade e microporosidade, mas as alterações só foram significativas no décimo quarto ano de cultivo.

TORMENA et al. (2002) em pesquisa com o Latossolo da região noroeste do Paraná, obtiveram os seguintes resultados: na camada de 0,10-0,20 m não foi constatado efeito do sistema de manejo. Na camada de 0,10-0,20 m se obteve o maior valor de densidade no sistema de plantio direto. No cultivo mínimo, os valores de densidade do solo foram intermediários entre o sistema de plantio direto e o preparo convencional. As diferenças de densidade do solo entre as camadas avaliadas revelaram os efeitos dos implementos no fracionamento dos agregados com conseqüente formação de poros nos sistemas de preparo convencional e cultivo mínimo.

Vale ressaltar que a estrutura do solo após a aplicação dos implementos de preparo é fortemente dependente do tipo de implemento utilizado, das condições climáticas e do teor de água do solo. Para porosidade do solo, o cultivo mínimo e preparo convencional promoveram aumentos na porosidade do solo, quando comparados ao sistema de plantio direto. Em relação à microporosidade, houve aumento no plantio direto, o que se deve ao aumento da densidade do solo.

Segundo COSTA et al. (2003), além das classes texturais do solo, as condições climáticas, os sistemas de culturas utilizados, o tempo de uso dos sistemas de manejo e a condição de umidade do solo em que são realizadas as operações de campo, determinam a magnitude dos efeitos do manejo sobre as propriedades físicas do solo. Isso explica os resultados obtidos quanto ao efeito dos sistemas de preparo convencional e plantio direto na densidade do solo, na porosidade e na resistência do solo a penetração.

CRUZ, PAULETTO & FLORES (2003) estudando sistemas de manejo em Argissolo Vermelho obtiveram resultados que mostraram maior densidade do solo na profundidade 0 a 0,10 m no sistema de plantio direto, quando comparado com campo nativo e preparo convencional. Nas camadas de 0,10 a 0,20 m não ocorreram diferenças. A porosidade total foi maior no preparo convencional. Os maiores valores de macroporosidade foram encontrados no sistema convencional na profundidade de 0 a 0,10 m e maior microporosidade na camada de 0,10 a

0,20m. O sistema de plantio direto apresentou maior quantidade de carbono orgânico sem refletir no diâmetro médio dos agregados, não confirmando resultados obtidos por vários pesquisadores (TISDALL & OADES, 1982; CASTRO FILHO et al., 1998; GANG LU et al., 1998) que consideram a matéria orgânica o principal agente de estabilização dos agregados do solo.

FALLEIRO et al. (2003), estudando durante quinze anos a influência dos sistemas de manejo nas propriedades químicas e físicas do solo, encontraram resultados indicando que a densidade do solo foi maior em sistema de plantio direto, devido à acomodação natural do solo, dada a ausência de revolvimento. Não houve aumento ou redução de densidade do solo com o aumento da profundidade, em sistema de plantio direto, preparo com grade pesada e preparo com arado de aiveca. A microporosidade e a macroporosidade não foram afetadas pelos sistemas de manejo e/ou profundidades amostradas. O teor de matéria orgânica foi maior na camada de 5-10 cm no tratamento com grade pesada, sendo esse resultado relacionado com a profundidade de atuação dos implementos, uma vez que a grade pesada incorpora mais os resíduos culturais mais próximos à superfície que o arado de aiveca.

VENZKE (2003) verificou que o sistema de plantio direto proporciona condições favoráveis ao desenvolvimento de microorganismos na camada superficial do solo devido a fatores como o não revolvimento do solo, a calagem, adubação e a deposição dos resíduos da cultura na superfície.

OLIVEIRA et al. (2003) estudaram as alterações estruturais e o comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, sob os sistemas de plantio direto e preparo convencional com arado de disco após vinte anos de manejo comparando com uma área de cerrado. Os valores de matéria orgânica foram maiores para áreas de plantio direto e cerrado na camada de 0 a 0,05 m, sendo que na camada de 0,20 a 0,30 m os valores foram estatisticamente iguais para os três tratamentos. Os autores constataram que as maiores diferenças na estrutura foram encontradas em poros maiores que 145 μm , no entanto, o preparo com arado de disco foi o que mais afetou a estrutura do solo, diminuindo os valores da macroporosidade (poros maiores que 50 μm).

TORMENA et al. (2004) fizeram referência a vários autores observando que a compactação superficial em plantio direto modifica, de forma detrimental, as propriedades físicas do solo. Em alguns solos, a resistência à penetração atinge valores excessivamente elevados e, nesses casos, alguns estudos demonstraram a eficiência do revolvimento mecânico para controlar a compactação do solo. Os resultados mostraram redução na resistência à penetração e aumento da porosidade por meio da escarificação superficial do solo. Alguns inconvenientes podem advir do uso desta prática, como a redução nos teores de matéria orgânica, a qual reflete na redução da estrutura e recompactação do solo.

Segundo LAURIANI et al. (2004), no sistema de plantio direto a porosidade total do solo é menor quando comparada ao sistema convencional, porém há maior proporção de macroporos. Esse aumento na macroporosidade pode induzir um fluxo preferencial e contribuir para aumentar as taxas de infiltração. Na transição entre o sistema convencional para o sistema de plantio direto, vários fatores influenciam na qualidade do solo. Entre esses fatores, está a distribuição de poros, cuja avaliação permite quantificar e qualificar os poros existentes em um solo e a eficiência do sistema, conseqüentemente.

Em solos que apresentam características naturais favoráveis ao cultivo, o preparo convencional degrada as propriedades físicas, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. A semeadura direta, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém consolida a camada superficial (BERTOL et al., 2004).

Para SECCO et al. (2005), estabelecer sistemas de manejo conservacionistas que objetivam a sustentabilidade de solos argilosos é de grande interesse, neste sentido, o sistema de plantio direto, quando conduzido adequadamente, pode possibilitar a recuperação e a preservação da estrutura do solo.

Os mesmos autores, SECCO et al. (2005), avaliaram os atributos físicos de um Latossolo Vermelho Argiloso através da densidade do solo, espaço poroso (porosidade total, macro e microporosidade) nas camadas de 0 a 0,07 m, 0,07 a

0,14 m e 0,14 a 0,21 m e produtividade das culturas de soja e milho, durante três anos consecutivos nos sistemas: plantio direto contínuo, plantio, direto com escarificação a cada três anos, plantio direto no verão com escarificação no inverno, preparo conservacionista, escarificação mais grade niveladora, plantio convencional e arado mais grade niveladora. Os autores concluíram que a densidade do solo apresentou valores superiores nos sistemas que sofreram menor mobilização do solo, plantio direto contínuo e plantio direto com escarificação do solo a cada três anos, enquanto a porosidade total e macroporosidade apresentaram valores maiores nos outros sistemas de preparo. A produtividade das culturas da soja e milho não diferiu significativamente entre os sistemas, indicando que para essas culturas mudanças no estado estrutural do solo não comprometeram sua produtividade.

2.2 Influência da matéria orgânica nas propriedades físicas do solo

EKWUE (1990) analisando resultados obtidos por vários pesquisadores citou que a matéria orgânica influi na estabilidade dos agregados, densidade de partículas e capacidade de retenção de água no solo. A matéria orgânica melhora a estabilidade dos agregados por diminuição da condutividade hidráulica devido ao efeito desta sobre os agregados do solo. Porém, nem toda matéria orgânica apresenta o mesmo efeito na estabilidade dos agregados do solo. Resultados obtidos em solos com resíduos de gramíneas e solos turfosos apresentaram efeitos diferenciados na estabilidade dos agregados do solo. Dados mostraram que a maior ou menor estruturação do solo, com aumento do conteúdo de matéria orgânica depende da natureza da matéria orgânica e das condições em que se encontra o solo. O aumento na concentração de matéria orgânica no solo contribui para o aumento da estabilidade dos agregados, mas o aumento é limitado e essa limitação é rompida quando se reduz a densidade do solo e melhora a retenção de água.

Alterações na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo e conservação da mesma nos sistemas de manejo podem ter inúmeros impactos

físicos, químicos e biológicos próprios, influenciando nas características da água do solo, no nutriente utilizável e na atividade biótica sobre o solo (FRANZLUEBBERS & ARSHAD, 1996).

LONGO, ESPÍNDOLA & RIBEIRO (1999), estudando modificações na estabilidade de agregados no solo de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica, observaram em todas as situações estudadas, queda gradual nos teores de C-orgânico quando se passou de área de floresta para pastagem. O carbono e o nitrogênio são bastante vulneráveis ao cultivo por estarem concentrados na camada superficial do solo. Comparando o diâmetro médio dos agregados e o C-orgânico, a correlação foi significativa entre as características físicas, taxas de matéria orgânica, perdas de água do solo e produtividade, afirmando que se poderia estimar a degradação de um solo conhecendo-se seu teor de matéria orgânica.

Trabalhando sob sistemas de uso e manejo, FREITAS et al. (2000) observaram que o sistema de plantio direto possibilita maior estocagem de C no compartimento resíduos vegetais; em comparação com o preparo convencional, a incorporação de resíduos vegetais favorece a estocagem de C no compartimento organo-argiloso (0-2 mm) e a fração resíduos vegetais aparece como indicador da evolução dos estoques orgânicos nos solos, mesmo que estas variações sejam muito fracas.

BAYER et al. (2000) fazendo referência a vários pesquisadores, relataram que aproximadamente 50% do conteúdo de matéria orgânica são reduzidos nos três primeiros anos de implantação do sistema convencional, a rápida e significativa redução é acompanhada por decréscimo severo na capacidade de troca de cátions. Sendo que a matéria orgânica é um fator muito importante na avaliação do manejo do solo, afetando a qualidade do solo e, portanto, a sustentabilidade agrícola. No entanto, o efeito do manejo na proporção da decomposição da matéria orgânica é dependente do tipo de solo, sobretudo da composição mineralógica.

Segundo IMHOFF (2002) a resistência do solo à compactação depende de seus atributos intrínsecos, dentre os quais a textura é um dos mais relevantes. A

resposta do solo à compactação também é influenciada pelo teor de carbono do solo. A susceptibilidade à compactação decresce com o incremento no teor de carbono orgânico do solo. Entretanto, o efeito da matéria orgânica na redução da compactação parece ser dependente do teor de água do solo no momento da aplicação da carga. A matéria orgânica parece ter a capacidade de atuar como agente agregante ou desagregante, dependendo de sua composição química e da presença de outros materiais cimentantes. A influência da matéria orgânica parece depender, também, da natureza das áreas de fratura, que por sua vez, depende da textura do solo, da qualidade da matéria orgânica e da distribuição espacial da mesma dentro dos agregados.

Segundo ALVARENGA, GUIMARÃES & MOURÃO JUNIOR (2002) o teor de matéria orgânica em solos cultivados muda lentamente com o tempo, em função do uso e manejo, diferenças são difíceis de serem detectadas a curto prazo. A densidade de partículas não é influenciada por alterações mecânicas, mas sim pelo teor de matéria orgânica. A densidade do solo é influenciada pelas operações de preparo e de manejo do solo. A modificação na porosidade de um solo pode ser consequência de vários fatores ligados ao manejo. O revolvimento aumenta a oxidação dos compostos orgânicos do solo, que perdem a sua ação cimentante de agregados induzindo à redução da porosidade como resultado da subdivisão dos agregados maiores.

CERETTA et. al (2002), relataram que a taxa de decomposição de resíduos vegetais está associada à relação carbono/nitrogênio do tecido, por isso espécies não gramíneas possuem maior taxa de decomposição, quando comparadas com gramíneas. O reflexo disso é a intensidade do fenômeno de imobilização de nitrogênio. A aplicação de nitrogênio mineral em pré-semeadura do milho promove acréscimo no teor de N do solo, após o manejo das plantas de cobertura, o que também poderia influenciar na taxa de decomposição de resíduos vegetais.

Para SOUZA & MELO (2003), a degradação do solo inicia-se com a remoção da vegetação natural e acentua-se com os cultivos subsequentes, removendo matéria orgânica e nutriente que não são repostos nas mesmas proporções ao longo do tempo. Em dado momento, os teores de nutrientes podem

se tornar tão baixos que inviabilizam a produção agrícola, caracterizando um estágio da degradação.

Os mesmos autores, SOUZA & MELO (2003), avaliaram o comportamento dos teores de carbono orgânico, carbono total e matérias húmicas, no sistema de plantio direto durante seis anos, no qual as amostras foram coletadas 60 dias após emergência das plântulas, nas camadas de 0 a 0,05 m, 0,05 a 0,10 m e 0,10 a 0,20 m. O experimento foi conduzido sob sistemas de rotação e sucessão de culturas: semeadura convencional de milho com pousio no inverno, plantio direto de milho em rotação com soja e pousio no inverno e plantio direto de milho com mucuna preta e feijão guandu no inverno. Os autores concluíram que o sistema plantio direto com pousio e cultivo de mucuna preta e feijão guandu no inverno elevaram os teores de carbono orgânico e húmico, nas camadas superficiais do solo.

Segundo SANTOS & TOMN (2003), o plantio direto tem por objetivo aumentar a matéria orgânica do solo, de maneira a aumentar o estoque de nitrogênio e beneficiar a estrutura física do solo em termos de densidade, uma vez que um solo com adequada estruturação física facilita as operações de semeadura e evita o aparecimento de fatores físicos que prejudiquem o desenvolvimento das plantas.

Para ALVARENGA, CRUZ & NOVOTNY (2003) a camada de resíduos vegetais em processo de decomposição é fundamental no sistema de plantio direto, pois desprende ácidos fúlvicos capazes de tamponar o alumínio trocável neutralizando a sua toxidez.

Segundo os mesmos autores, ALVARENGA, CRUZ & NOVOTNY (2003), um dos fatores que regulam a quantidade de palha sobre o solo é a relação C/N do material vegetal da palhada. A relação C/N é inerente à espécie e reflete na velocidade de decomposição do material. As leguminosas têm decomposição rápida e a gramínea decomposição lenta, sendo aceito um valor de relação C/N próximo a 25 como de referência na separação entre elas. As leguminosas, por imobilizarem nos seus tecidos o nitrogênio da fixação biológica feita pelo rizóbio associado, possuem relação C/N próximo a 20 e taxa de decomposição rápida, ao

passo, que as gramíneas são de decomposição lenta, pois seu conteúdo de nitrogênio na fitomassa é menor. Nos primeiros anos de implantação do sistema de plantio direto, deve ser dada preferência ao cultivo de gramíneas, de relação C/N larga, para acelerar a formação da camada de palha.

SANTOS & TOMN (2003) estudaram o comportamento da matéria orgânica e dos macros nutrientes no solo, em sistemas de manejo: plantio direto, cultivo mínimo, preparo convencional com arado e grade de discos e preparo convencional com arado de aiveca e grade de discos, em três sistemas de cultivo: trigo/soja e ervilhaca/milho; trigo/soja, ervilhaca/milho e aveia branca/soja. As amostras foram coletadas nas camadas de 0 a 0,20m, em intervalos de 0,05 m, durante oito anos. Os autores concluíram que os teores de matéria orgânica, P e K disponíveis foram maiores nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo, do que nos sistemas convencionais, na camada de 0 a 0,05 m de solo. Os níveis de matéria orgânica e os teores de P e K diminuíram progressivamente da camada de 0 a 0,05 m para camada de 0,15 a 0,20 m em todos os tratamentos.

MIOLO et al. (2004) relacionaram a disponibilidade de N e o contato do solo na velocidade de decomposição de resíduos culturais pobres em N (elevada relação C/N), mostraram que a decomposição de palha de milho e a quantidade de N imobilizado dependem da disponibilidade de N do solo. O contato entre os resíduos e o solo, que varia principalmente em função do tamanho das partículas dos resíduos e da sua localização no solo, superfície ou incorporados, influencia as possibilidades de colonização do substrato pelos microrganismos, a disponibilidade de N para a decomposição e as condições abióticas, umidade e temperatura.

Na recuperação de um solo degradado, a adição e balanço de matéria orgânica são fundamentais, pois a melhoria e a manutenção das condições físicas internas e externas do solo só poderão ser alcançadas e mantida via biológica, isto é, através da ação de raízes, da atividade macro e microbiológica e da decomposição do material orgânico (ALVES & SUZUKI, 2004).

Para BERTOL, LEITE & ZOLDAN (2004) a decomposição dos resíduos culturais depende da natureza e da quantidade do material vegetal, da fertilidade

do solo, do manejo da cobertura e do grau de fracionamento do resíduo, além de condições climáticas, representadas principalmente pelo regime de chuvas e pela temperatura, que influem na atividade microbiana do solo. A velocidade de decomposição do resíduo vegetal sobre o solo é regulada principalmente pela relação C/N do material, inerente à espécie vegetal. O grau de maturação das plantas é um fator que regula a permanência dos resíduos vegetais na superfície do solo, já que elevada relação C/N dificulta a decomposição dos resíduos. A persistência de resíduos vegetais na superfície do solo com a temperatura e a umidade, tem mostrado que essa relação é exponencial negativa, com pequena influência dessas variáveis sobre a decomposição de resíduos.

Segundo TORRES et. al (2005) o manejo dos restos culturais, em superfície ou incorporados no solo, resulta em diferentes velocidades de decomposição. Todavia não existe um consenso na bibliografia com relação ao melhor método para avaliação desta decomposição, sendo a concentração de N e as relações C/N e lignina/N sugeridas por alguns autores. Em referência a outros autores citam que a velocidade de decomposição da palhada de milho e sorgo são maiores nos primeiros 42 dias, para o milho há uma diminuição de 64% da massa seca remanescente quando incorporada ao solo.

WENDLING et al. (2005), trabalhando em Latossolo Vermelho com sistema de plantio direto sucessão milho/soja, plantio direto sucessão milho/milho/soja, plantio direto com capim tifton, sistema convencional e solo com mata nativa observaram que o cultivo do solo reduziu drasticamente o conteúdo de carbono total, em todas as camadas de solo analisadas. O plantio direto não foi eficiente em aumentar o conteúdo de carbono total. Isso pode ser justificado pelo alto teor de argila do solo, conferindo ao carbono orgânico proteção coloidal maior o que dificulta a degradação do material orgânico. O tratamento com capim tifton foi o mais eficiente em aumentar a fitomassa do solo. Isso porque a cultura é perene e possui alta relação C/N, que lhe confere maior tempo de decomposição e de residência no solo.

BASTOS et al. (2005) relataram a importância da matéria orgânica na formação dos agregados e sua atuação como agente cimentante. Agregados são

componentes da estrutura do solo e, portanto, de suma importância na manutenção da porosidade e aeração do solo, no crescimento das plantas e da população microbiana, na infiltração de água e no controle dos processos erosivos. Para a formação do agregado, é necessário que os colóides do solo se encontrem floculados e que todos os componentes do agregado sejam posteriormente estabilizados por algum agente cimentante. O aumento da estabilidade dos agregados está intimamente relacionado com a capacidade da matéria orgânica de se aderir às partículas minerais do solo, formando as ligações argilo-metal-húmicas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área de estudo

Este trabalho foi conduzido no ano agrícola de 2004/2005, no município de Foz do Iguaçu, região Oeste do Paraná, cujas coordenadas geográficas são: latitude 25°26'41,3"S e longitude 54°29'22,7"W e altitude de 24 m. O clima da região é temperado mesotérmico e superúmido, com precipitação anual em torno de 1800 mm anuais e temperatura média anual de 25°C. O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen é Cwa (clima tropical de altitude, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22°C), conforme PEREIRA, ALGELOCCI & SENTELHAS (2002).

O solo é uma Terra Roxa Estruturada, com textura argilosa e relevo plano (EMBRAPA, 1999).

O experimento foi instalado em uma área de 2000 m² com histórico de cinco anos de plantio direto, anteriormente sistema convencional, com cultivo sucessivo de trigo no inverno e soja no verão, sem rotação de culturas.

3.2 Experimento

A área experimental apresenta homogeneidade das condições ambientais e do material experimental por se localizar em uma topografia plana sem variação do tipo de solo e técnicas de manejo. A parcela trabalhada foi locada no meio do terreno para descartar os prováveis efeitos de bordadura do terreno.

Foram efetuados dois tratamentos, primeiro tratamento plantio direto e o segundo cultivo mínimo, com mobilização por meio de escarificação a 20 cm de profundidade.

Antes da semeadura da cultura do trigo foram coletadas amostras para determinação da densidade do solo, matéria orgânica, porosidade total e densidade textural.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial com dois fatores sendo dois sistemas de manejo (PD e CM) por quatro profundidades de amostragem. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância, usando o programa ESTAT (UNESP, 1991).

Após colheita foi analisado somente o sistema de manejo cultivo mínimo, com 16 repetições para densidade do solo e 4 repetições para matéria orgânica, em delineamento experimental inteiramente casualizado. As médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância, usando o programa ESTAT (UNESP, 1991).

O experimento foi instalado em parcelas com área de 1000 m² (20 x 50 m) as parcelas que receberam o sistema plantio direto estavam distanciadas da parcela sistema cultivo mínimo por uma distância de 10 m.

A mobilização superficial do solo no sistema cultivo mínimo foi realizado 15 dias antes da semeadura do trigo, a uma profundidade de 20 cm, com um trator marca Ford modelo 6610 a velocidade de 6 km h⁻¹, utilizando escarificador do tipo bico de pato com cinco hastes.

Foi implantada a cultura do trigo no inverno, sendo efetuados a semeadura, adubação e os tratamentos fitossanitários de acordo com as recomendações agronômicas para a cultura.

Os dados foram coletados antes da semeadura e após a colheita do trigo.

Foram avaliadas densidade do solo, teor de matéria orgânica antes e após a semeadura do trigo. Densidade de partículas, porosidade total e densidade textural foram avaliadas somente antes da semeadura no sistema de plantio direto, devido ao fato de estarem ligadas ao teor de matéria orgânica e esta muda lentamente no decorrer do tempo, não diferindo entre os sistemas de cultivo.

A determinação da granulometria foi realizada através de amostras casualizadas coletadas antes da mobilização do solo com escarificação caracterizando toda a área experimental.

3.2.1.1 Coleta e análise dos dados

As amostras de solo foram coletadas na profundidade 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm e 15-20 cm.

Foram coletadas amostras em quatro pontos das parcelas de forma inteiramente casual, para densidade do solo, porosidade total, densidade textural e granulometria essas amostras geraram 16 repetições. Para densidade de partículas e teor de matéria orgânica as amostras foram compostas, coletadas em quatro pontos diferentes e misturadas nas profundidades correspondentes, gerando amostras compostas com quatro repetições.

A análise estatística dos resultados foi realizada através da comparação das médias pelo teste de Tukey a 5 % de significância, usando o programa ESTAT (UNESP, 1991).

3.2.1.2 Determinação das propriedades físicas do solo

No Laboratório de Análise de Solos da Cooperativa de Desenvolvimento Econômico e Tecnológico-COODETEC foram determinados os teores de carbono e a granulometria do solo. Densidade do solo, densidade de partículas, densidade textural e porosidade do solo foram determinadas nos laboratórios de Geotecnia e Mecanização Agrícola, do curso de Engenharia Agrícola da UNIOESTE-Campus de Cascavel-Pr.

3.2.1.3 Densidade do solo

A densidade do solo foi determinada usando-se o método do anel volumétrico (EMBRAPA, 1997) com quatro amostragens por parcelas no total de 16 repetições. Esse método consiste na extração de amostras de solo

indeformadas utilizando-se anéis volumétricos de 24 mm de altura por 70 mm de diâmetro interno. As amostras foram conduzidas para o laboratório para serem pesadas. Após pesagem elas foram colocadas em estufa a 105 °C por 24 horas, para determinação do teor de água.

Com os valores da massa seca do solo e volume do anel, determinou-se a densidade do solo pela fórmula:

$$\gamma_s = M_s/V_c \quad (1)$$

em que:

γ_s = densidade do solo, g cm⁻³

M_s = peso do solo seco, g

V_c = volume do anel volumétrico, cm³

3.2.1.4 Densidade de partículas

A densidade de partículas foi determinada para cada camada do solo, com quatro repetições, utilizando-se o método do picnômetro com água (STENGEL, 1983).

As amostras de solo foram secas ao ar e fragmentadas através de peneira de 300 μ m. Os picnômetros foram pesados vazios, posteriormente completados com água destilada a temperatura ambiente e novamente pesados. Em seguida, com os picnômetros vazios foi colocada uma pequena quantidade da amostra de solo, aproximadamente 10 g. Completou-se o picnômetro até três quartos do volume com água destilada e esperam-se algumas horas para a saturação da amostra afim de que a água ocupasse os espaços vazios do solo. Após esse período, completaram-se os picnômetros com água destilada até uma marca estabelecida, normalmente no gargalo, e pesou-se o picnômetro. Retirou-se o excesso de água para evitar que as projeções por ebulição derramassem parte do solo, secando-se em estufa a 105°C durante 24 horas. Logo após a secagem, pesou-se o picnômetro com o solo seco, determinando-se a densidade de partículas pela seguinte equação:

$$\gamma_p = (m_1 - m_0) / [(m_3 - m_0) - (m_2 - m_1)] \quad (2)$$

em que:

γ_p = densidade de partículas kg m^{-3}

m_0 = massa do picnômetro vazio

m_1 = massa do picnômetro com solo após secagem em estufa

m_2 = massa do picnômetro com solo e água destilada, até a marca estabelecida

m_3 = massa do picnômetro com água destilada até a marca estabelecida

3.2.1.5 Determinação da porosidade do solo

A determinação da porosidade do solo foi conduzida segundo a metodologia de STENGEL (1983), que foi dividida em porosidade estrutural e textural. A porosidade estrutural resulta da contribuição das atividades biológicas dos sistemas de manejo e das condições climáticas, enquanto a porosidade textural resulta do arranjo das partículas elementares do solo.

A porosidade do solo é expressa pelo índice de vazios e determinada pela equação:

$$e_T = \gamma_p / \gamma_s - 1 \quad (3)$$

em que:

e_T = índice de vazios total, em %

γ_p = densidade de partículas, em kg m^{-3}

γ_s = densidade do solo, em kg m^{-3}

3.2.1.6 Densidade textural

A densidade textural ou densidade de agregados foi determinada pelo método de STENGEL (1983) que determina a densidade de pequenos fragmentos, agregados ou torrões de pequenos diâmetros de 2 a 3,35 mm. Eles são imersos em querosene, para medir o volume por meio do peso hidrostático no mesmo líquido, segundo o princípio de Arquimedes.

As amostras, depois de coletadas e secas ao ar, são destorroadas e peneiradas com peneiras de malha entre 2 e 3,35 mm.

Os agregados foram saturados e dispostos sobre um pano que envolve um prato cerâmico, de maneira que parte do pano ficasse imersa na água dentro do

saturador. Os agregados não tocaram diretamente a água. O saturador foi fechado e ligado a uma bomba de vácuo por duas horas. Os agregados permaneceram no saturador por 24 horas.

Após saturação dos agregados eles foram retirados e dispostos em uma câmara isolada termicamente, com sílica gel seca em estufa a 105°C. As amostras foram retiradas de 20 em 20 minutos, durante seis horas. Com massa de 2 a 3 gramas armazenadas em cápsulas de alumínio, os agregados foram imersos em querosene. As amostras permaneceram em repouso durante 12 horas.

Em seguida, os agregados foram retirados das cápsulas, colocados sobre folhas de papel absorvente sobrepostas. Os agregados foram deslocados sobre o papel de modo a eliminar o querosene periférico, tomando o cuidado para não danificar os agregados.

Colocou-se um becker com 400 g de querosene sobre uma balança de precisão, procedeu-se o peso hidrostático dos agregados postos em uma pequena tela suspensa em um pêndulo. Tarou-se a balança com o becker, querosene e a peneira imersa no querosene em uma posição fixa (Figura 01 – P1). Suspendeu-se a peneira e distribuíram-se os agregados de forma a obter uma camada uniforme. Realizou-se a imersão da peneira com os agregados no querosene. Agitou-se suavemente de forma a eliminar as bolhas de ar presas pelas malhas ou agregados e registrou-se o valor obtido (Figura 01 – P2).



Figura 01 Sistema para determinação dos pesos hidrostáticos dos agregados P 1.



Figura 02 Sistema para determinação dos pesos hidrostáticos dos agregados P 2.

Para cada amostra a balança foi tarada, com a peneira submersa no querosene (Figura 01 – P1). A temperatura do querosene foi monitorada com o auxílio de um termômetro imerso no querosene.

Após os agregados serem pesados eles voltaram para as cápsulas e foram colocados em estufa com aeração interna a 105 °C durante 24 horas, para determinação do teor de água e massa de agregados secos. O volume de agregados foi determinado pela equação:

$$V_a = m/\gamma_q \quad (4)$$

em que:

V_a = volume de agregados, em cm^3

M = massa dos agregados imersos no querosene, em g

γ_q = densidade do querosene, em g cm^{-3}

A densidade textural é determinada pela equação:

$$\rho_t = m_a/V_a \quad (5)$$

em que:

γ_t = densidade textural, em g cm^{-3}

m_a = massa de agregados secos, em g

3.2.1.7 Porosidade textural

Segundo STENGEL (1983), os agregados de 2 a 3,35 mm são pequenos o suficiente para apresentar apenas porosidade textural. Esta foi determinada pelo índice de vazios textural com base na equação:

$$e_t = \gamma_p / \gamma_t - 1 \quad (6)$$

em que:

e_t = índice de vazios textural, em %

γ_p = densidade de partículas

γ_t = densidade textural, em g cm⁻³

3.2.1.8 Índice de vazios estrutural

O índice de vazios estrutural foi determinado pela diferença entre o índice de vazios total e textural de acordo com a equação:

$$e_s = e_T - e_t \quad (7)$$

em que:

e_s = índice de vazios estrutural, em %

e_T = índice de vazios total, em %

e_t = índice de vazios textural, em %.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Granulometria

Na Tabela 01 são apresentados os valores das frações do solo, em porcentagem de argila, silte e areia presentes no solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm profundidades.

Tabela 01 Valores de argila, silte e areia em porcentagem nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-15 cm de profundidade

Frações do solo (%)	Profundidade (cm)		
	0 – 5	5 – 10	10 – 15
Argila	59	65	65
Silte	24	20	20
Areia	16	14	14

A análise granulométrica mostrou que o solo possui textura argilosa com os teores de argila que variam de 59 a 65 %, silte de 20 a 24 % e areia de 14 a 16 % (Tabela 01).

Observou-se aumento da argila nas profundidades amostradas, concordando com CENTURION et al. (2004), que observaram a alteração no conteúdo de eluviação da argila.

4.2 Densidade textural

Os valores de densidade textural ou densidade dos agregados, na profundidade de 0-5cm, estão representados na Figura 2, sendo a densidade textural a forma inversa de seus valores reais, versus a umidade. A reta de cor verde representa os agregados secos. A segunda reta, em tom de azul escuro, representa a faixa compreendida entre o estado limite de retirada de água até o próximo ponto de inflexão, representando o estado limite de saturação. A faixa intermediária representa a melhor condição de trabalho do solo. Na reta vermelha estão representados os agregados saturados.

O ponto de transição entre os agregados saturados e os agregados com água e ar representa o limite de saturação dos agregados, ou seja, na reta vermelha, os agregados encontram-se em seu estado máximo de saturação, ocorrendo somente o processo de retirada de ar destes agregados. Na reta azul escuro, os agregados estão em processo de retirada de água e ar, até atingir o próximo ponto de transição. A reta verde representa o limite de água do solo, o que significa que, a partir deste ponto, os agregados estão secos.

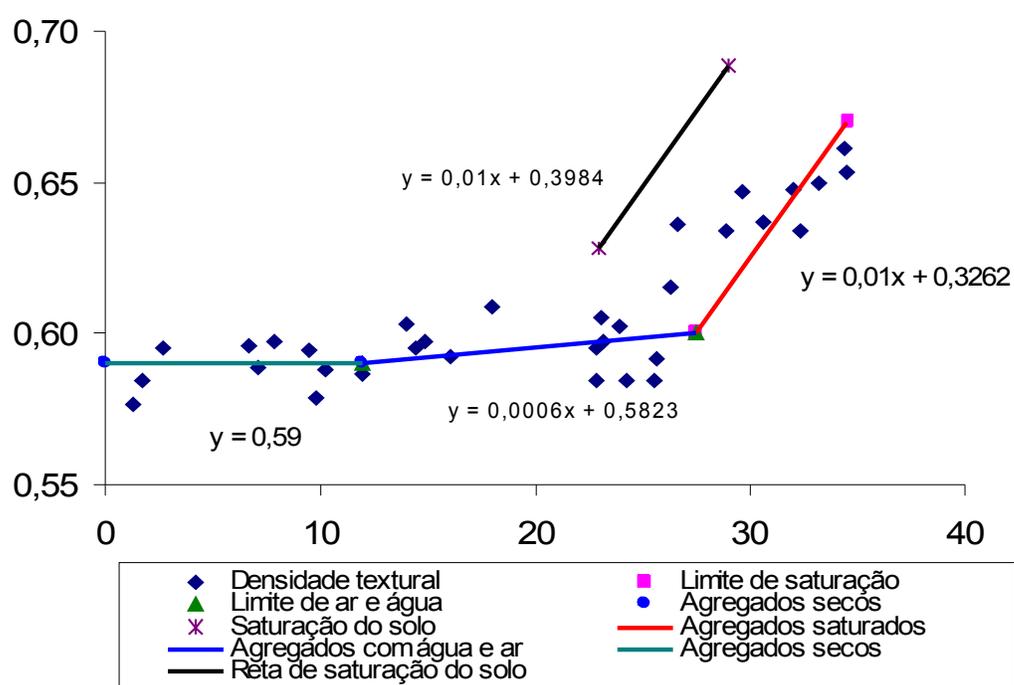


Figura 02 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 0-5 cm.

Na camada superficial (0-5 cm) o estado limite de retenção de água foi verificado no teor de água 24 g.g^{-1} , sendo a densidade do solo para essa profundidade igual a $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$.

O limite de retirada de água foi encontrado no teor de água de 12 g.g^{-1} .

Na Figura 03 é apresentado o gráfico da densidade de agregados na profundidade de 5-10 cm.

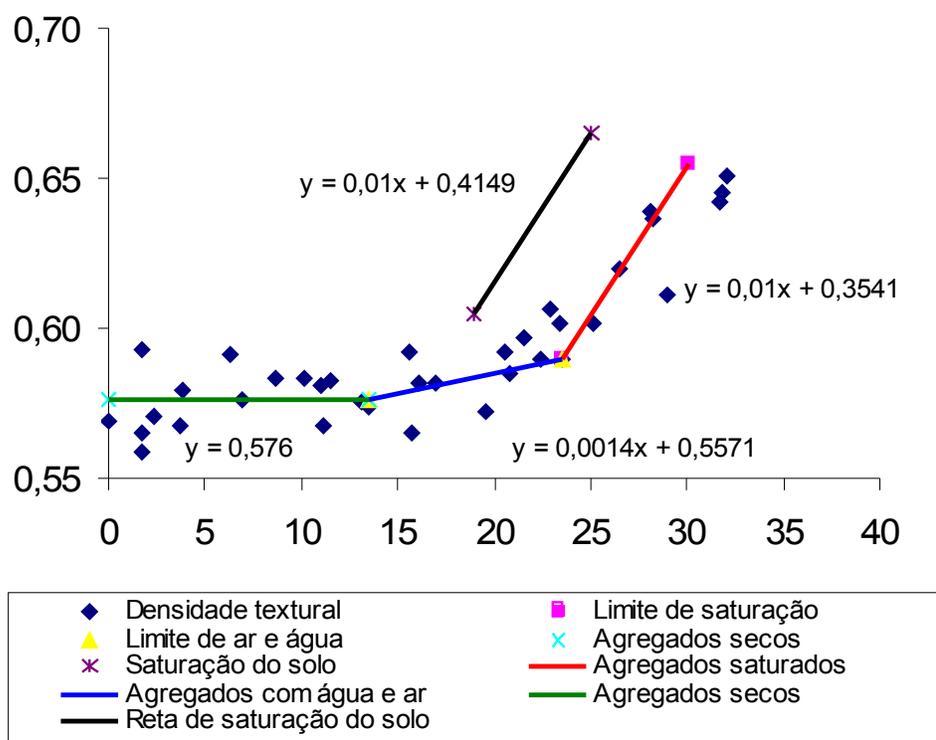


Figura 03 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 5-10 cm.

Para a profundidade de 5-10 cm, o limite de saturação de água foi encontrado no teor de água de 22 g.g^{-1} com densidade do solo de $1,30 \text{ g.cm}^{-3}$. Nessa profundidade, o limite de retirada de água foi no teor de 14 g.g^{-1} .

Na Figura 04 é apresentado o gráfico da densidade de agregados na profundidade de 10-15 cm.

Na camada subsuperficial (10 - 15 cm) o estado limite de retenção de água foi verificado no teor de água 26 g.g^{-1} , sendo a densidade do solo para essa profundidade $1,25 \text{ g cm}^{-3}$.

O limite de retirada de água foi encontrado no teor de água de 13 g.g^{-1} .

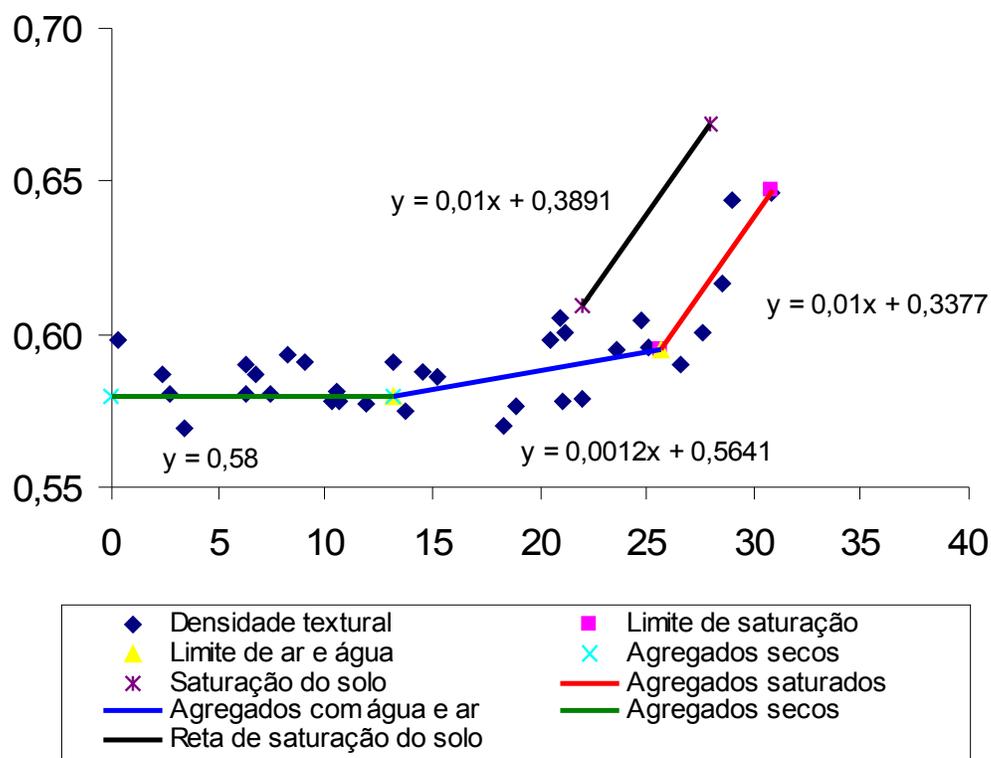


Figura 04 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 10-15 cm.

Na Figura 05 é apresentado o gráfico da densidade de agregados na profundidade 15-20 cm.

Para a profundidade de 15-20 cm, o limite de saturação de água foi encontrado no teor de água de 23 g.g⁻¹ com densidade do solo de 1,25 g.cm⁻³. Nessa profundidade, o limite de retirada de água foi no teor de 8 g.g⁻¹.

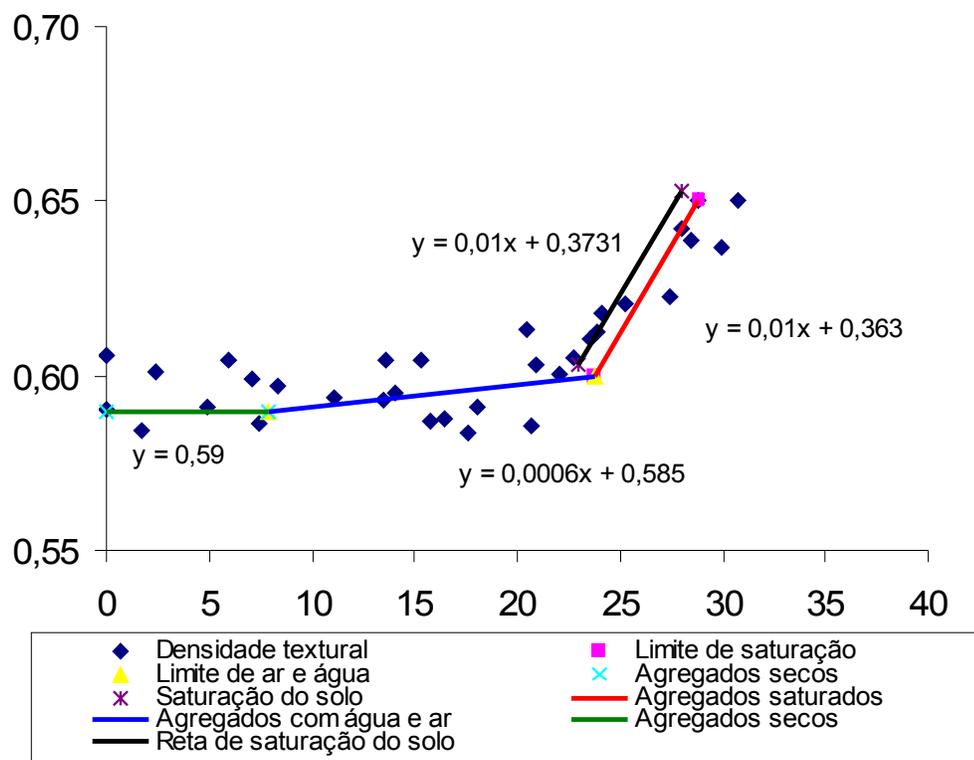


Figura 05 Densidade de agregados do solo em função do teor de água na profundidade de 15-20 cm.

Para os intervalos de profundidade estudados, os valores de densidade do solo no estado de limite de saturação e no limite de retenção de água mostram um potencial de retenção de água, e conseqüentemente, maior faixa de friabilidade e maior estabilidade de agregados. Este fato pode ser explicado pelos valores de carbono orgânico, tendo essa área um histórico de cinco anos de plantio direto, sabe-se, no entanto que, a maior quantidade de carbono orgânico eleva a capacidade de retenção de água do solo. As observações concordam com o encontrado por IMHOFF (2002), em que a textura, o teor de água e de matéria orgânica são atributos do solo que mais afetam a trafegabilidade e a condição estrutural ótima para o preparo do solo e crescimento das plantas.

4.3 Densidade do solo

Na Tabela 02 são apresentados os valores médios de densidade do solo (g cm^{-3}) nos sistemas de plantio direto e cultivo mínimo antes da semeadura da cultura do trigo.

Tabela 02 Valores de densidade do solo (g cm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm, em função dos sistemas de cultivo

Sistema de cultivo	Profundidade (cm)				Médias
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	
PD	1,12	1,28	1,32	1,28	1,29A
CM	1,10	1,37	1,37	1,31	1,28A
Médias	1,20a	1,27a	1,33a	1,33a	
MG = 1,18; DP = 0,12; CV = 9,19%					

Letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, e minúsculas, na mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

MG = média geral; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Na Tabela 02 observa-se que os maiores valores de densidade do solo são encontrados no sistema de cultivo mínimo com exceção da profundidade de 0-5 cm que apresentou o menor valor ($1,10 \text{ g cm}^{-3}$), porém, não existe diferença significativa entre os tratamentos. Essa redução pode ser explicada pela mobilização superficial que o solo sofreu. Observa-se também aumento da densidade do solo em função da profundidade. Essas observações estão em conformidade com o encontrado por CORSINI & FERRAUDO (1999), que verificaram que as operações de preparo do solo diminuem os valores de densidade solo nas camadas superficiais e aumentam nas camadas inferiores.

GOEDERT, SCHERMCK & FREITAS (2002) referiram-se a outros autores que indicaram níveis críticos para o desenvolvimento das raízes quando o solo estiver na capacidade de campo: $1,55 \text{ g cm}^{-3}$ para solos franco-argilosos e $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ para Latossolo Roxo, caracterizando estado de compactação. As médias de densidade do solo para os dois sistemas de cultivo ficaram bem próximas ao nível crítico observado no Latossolo Roxo.

Considerando o valor de $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ utilizado para Latossolo Roxo, somente a camada de 0-5 cm de profundidade do sistema cultivado mínimo estaria abaixo do limite considerado crítico para o desenvolvimento das raízes.

O menor valor de densidade do solo observado na profundidade de 0-5 cm no sistema de cultivo mínimo discorda das observações de COSTA et al. (2003). A redução da densidade indica melhoria na qualidade física do solo decorrente, possivelmente, da atividade da fauna e de raízes, as quais atuam na formação de bioporos. Em longo prazo, é possível que o acúmulo de matéria orgânica e a redução do tráfego contribuam para reduzir a densidade do solo no sistema de plantio direto.

Na Tabela 03 são apresentados os valores médios de densidade do solo (g cm^{-3}) no sistema de cultivo mínimo após a colheita da cultura do trigo.

Época de amostragem	Profundidade (cm)				Médias
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20	
AS	1,10	1,37	1,37	1,31	1,28A
AC	1,43	1,49	1,32	1,16	1,08B
Médias	1,20a	1,27a	1,33a	1,33a	

MG = 1,18; DP = 0,18; CV = 15,87%

Tabela 03 Valores de densidade do solo (g cm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm no sistema de cultivo mínimo antes da semeadura e após a colheita da cultura do trigo

Letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, e minúsculas, na mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

MG = média geral; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Analisando a Tabela 03 observa-se aumento da densidade do solo devido ao aumento da profundidade. Anteriormente à semeadura, o menor valor encontrado foi de $1,10 \text{ g cm}^{-3}$ na profundidade de 0-5 cm. O contrário foi observado nas camadas amostradas após a colheita, onde se verificou redução da densidade do solo nas camadas mais profundas, sendo o menor valor encontrado na camada de 15-20 cm. Existe diferença significativa na densidade do solo em função da época de amostragem.

4.4 Densidade de partículas

Na Tabela 04 são apresentados os valores médios de densidade de partículas do solo (g cm^{-3}).

Tabela 04 Valores de densidade de partículas do solo (g cm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm

	Profundidade (cm)			
	0 – 5	5 – 10	10 – 15	15 – 20
Densidade de partículas	2,41	2,41	2,57	2,68

Os valores de densidade de partículas (Tabela 04) não foram comparados entre os sistemas de manejo devido ao fato do solo apresentar a mesma constituição mineralógica e a densidade de partículas não ser influenciada por alterações mecânicas. ALVARENGA, GUIMARÃES & MOURÃO JUNIOR (2002) observaram que a densidade de partículas é influenciada pelo teor de matéria orgânica, sendo que este teor, em solo cultivado, muda lentamente com o tempo, em função do uso e manejo. Os maiores valores de densidade de partículas foram observados na camada de 15 a 20 cm ($2,68 \text{ g cm}^{-3}$), sendo que a média de densidade de partículas foi $2,51 \text{ g cm}^{-3}$.

4.5 Porosidade do solo

Na Tabela 05 são apresentados os valores médios de porosidade total do solo (%) no sistema de plantio direto e cultivo mínimo antes da cultura do trigo.

Tabela 05 Valores de porosidade total do solo (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm no sistema de plantio direto cultivo mínimo antes da semeadura da cultura do trigo

Sistema de cultivo	Profundidade (cm)				Médias
	0 - 5	5 – 10	10 - 15	15 - 20	
PD	53	47	49	52	49A
CM	54	43	47	51	48A
Médias	45				

MG = 48; CV(%) = 8,35 ; DP = 0,40

Letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, e minúsculas, na mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

MG = média geral; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

Na Tabela 05 observam-se os maiores valores de porosidade total do solo nas camadas de 0-5 cm e 15-20 cm nos dois sistemas de cultivo, mas sem diferir estatisticamente.

O menor valor de porosidade total foi apresentado pelo sistema plantio direto na camada de 0-5 cm, concordando com STONE & SILVEIRA (1999); TORMENA et al. (2002); CRUZ, PAULETTO & FLORES (2003); FALLEIRO et al. (2003), que encontraram que a organização natural do solo pelo seu não revolvimento e a movimentação de máquinas e implementos agrícolas ocasiona redução da porosidade total, na camada superficial.

O revolvimento do solo através da escarificação, no sistema cultivo mínimo, não garantiu aumento da porosidade total em todas as profundidades, esses aumentos só foram observados na camada de 0-5 e 15-20 cm de profundidade.

Nas camadas de 10-15 e 15-20 cm houve aumento na porosidade total, fato também observado para o sistema cultivo mínimo. Essas observações concordam com as realizadas por THEODORO et al. (2002) que observaram redução da porosidade total do solo com o revolvimento, devido à oxidação dos compostos orgânicos do solo, que perdem a ação cimentante de agregados; outro fator é o esmagamento e pulverização dos agregados pela ação física dos implementos que causam aumento na porosidade.

O aumento da porosidade por ocasião do preparo do solo, foi observado na camada de 0-5 m, as camadas mais profundas apresentaram valores menores de porosidade total quando comparadas com o sistema de plantio direto não estando os valores em conformidade com CORSINI & FERRAUDO (1999) que observaram que ocorreu aumento da porosidade do solo quando realizado o preparo do solo.

Não houve diferença significativa entre os sistemas de preparo e as profundidades estudadas, dados que estão de acordo com os pesquisados por ALVES & SUZUKI (2004).

Na Tabela 06 são apresentados os valores médios de porosidade do solo (%) no sistema de cultivo mínimo após a colheita da cultura do trigo.

A Tabela 06 mostra que os valores de porosidade total foram maiores na camada de 0-5 cm, os quais encontraram-se os menores valores, reduziu na

camada de 5-10 e novamente aumentaram nas camadas de 10-15 e 15-20 cm, os mesmos resultados foram observados na Tabela 05.

Tabela 06 Valores de porosidade total do solo (%) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm no sistema de cultivo mínimo após a colheita da cultura do trigo

Sistema de cultivo	Profundidade (cm)				Médias
	0 - 5	5 - 10	10 - 15	15 - 20	
AS	54	43	47	51	57A
AC	41	38	48	57	49B
Médias				54	

MG = 53 ; CV(%) = 14,22; DP = 0,75

Letras maiúsculas iguais, na mesma coluna, e minúsculas, na mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

MG = média geral; DP = desvio padrão; CV = coeficiente de variação.

As amostras coletadas antes da semeadura da cultura do trigo apresentaram maior valor (54%) de porosidade total na camada 0-5 cm, após a colheita. Ressalta-se, no entanto que, o maior valor foi observado na camada de 15-20 cm (57 %). Além disso, houve diferença significativa entre as épocas de amostragem.

4.6 Teores de carbono orgânico no solo

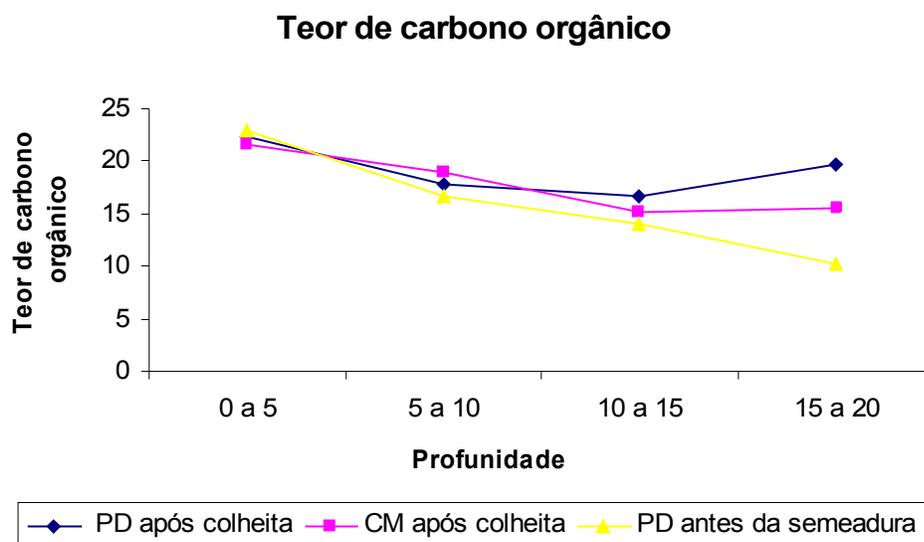


Figura 06 Valores de carbono orgânico no solo (g dm^{-3}) nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-15 e 15-20 cm, no sistema plantio direto antes da semeadura no sistema plantio direto e cultivo mínimo após a colheita do trigo.

Na Figura 06 são apresentados os valores médios de carbono orgânico do solo (g dm^{-3}) nos sistemas de plantio direto antes da semeadura e plantio direto e cultivo mínimo após a colheita da cultura do trigo.

Os maiores teores de carbono orgânico são observados no sistema plantio direto antes da semeadura do trigo na camada de 0-5 cm. Esses valores podem ser explicados pelo processo de imobilização e mineralização da matéria orgânica, onde a decomposição da palha por microrganismos libera compostos simples e energia, que é em parte utilizada para o próprio metabolismo e reprodução dos microrganismos, provocando aumento da biomassa no solo, imobilizando parte dos nutrientes que estavam contidos nos resíduos. Este aumento da biomassa representa a imobilização temporária dos nutrientes que agora fazem parte dos tecidos microbianos.

Nas camadas de 0-5 e 5-10 cm os valores de carbono orgânico apresentam maior uniformidade, nas camadas de 10-15 e 15-20 cm observa-se maior variação entre os valores médios.

Os dados estão em conformidade com MUZILLI (2002) que destacou que os maiores valores de carbono orgânico nas camadas superficiais podem ser explicados pelas quantidades de carbono e nitrogênio existentes nos resíduos orgânicos mantidos na superfície do solo, quando a cobertura é realizada com resíduos vegetais de alta concentração C/N como o trigo.

Nos dois sistemas de cultivo o teor de carbono orgânico do solo sofreu pequena variação, concordando com as observações de ALVARENGA, GUIMARÃES & MOURÃO JUNIOR (2002), para os quais o teor de carbono orgânico muda lentamente em função do uso e manejo do solo.

As reduções dos teores de carbono do solo em profundidade concordam com FREITAS et al. (2002), sendo pequenas as diferenças em profundidade de 0-20 cm nos sistemas de cultivo.

Quando se comparada às taxas de carbono orgânico após a colheita do trigo nos dois sistemas de cultivo, houve redução dos teores de carbono orgânico no sistema cultivo mínimo, resultado semelhante ao de CORRÊA (2002) que ressaltou os menores valores para o cultivo mínimo, onde o revolvimento do solo favorece maior taxa de oxidação do carbono orgânico, resultando em diminuição do teor de carbono orgânico do solo.

A média de carbono orgânico do solo encontrada para o sistema plantio direto foi de $19,13 \text{ g dm}^{-3}$ e para o sistema cultivo mínimo $17,81 \text{ g dm}^{-3}$.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir, nas condições deste experimento, que:

Os maiores valores de densidade do solo em relação ao sistema de cultivo foram encontrados no sistema cultivo mínimo com exceção da camada de 0-5 cm. As amostras analisadas antes da semeadura da cultura do trigo apresentaram aumento da densidade do solo com o aumento da profundidade, o contrário foi observado nas mesmas camadas analisadas após a colheita.

Os maiores valores de densidade de partículas foram observados na camada de 15-20 cm de profundidade.

Os maiores teores de carbono orgânico foram observados no sistema plantio direto antes da semeadura do trigo na camada de 0-5 cm, com mais uniformidade nos teores de carbono orgânico nas camadas de 0-5 e 5-10 cm de profundidade. Após a colheita do trigo houve redução nos teores de carbono orgânico.

O sistema de plantio direto foi o que apresentou o menor valor de porosidade total na camada de 0-5 cm de profundidade. A porosidade total do solo é alterada quando as amostras são comparadas antes da semeadura e após a colheita da cultura do trigo no sistema cultivo mínimo.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; MOURÃO JUNIOR, R. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob mata nativa e sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/trabVanessa2.htm>. Acesso em 10/07/2005.

ALVARENGA, R.C.; CRUZ, J.C.; NOVOTNY, E.H. Manejo de solo: plantas de cobertura de solo. Disponível em: <http://www.paginarural.com.br/artigosdetalhes.asp?subcategoriaid=10&id=720>. Acesso em 21/01/2006.

ALVES, M.C.; SUZUKI, L.E.A.S. Influência de diferentes sistemas de manejo do solo na recuperação de suas propriedades físicas. **Acta Scientiarum**. Agronomy. Maringá, v.26, n.1,p.27-34, jan/mar, 2004.

BALL, B.C.; CAMPBELL, D. J.; DOUGLAS, J. T.; HENSHALL, J. K. Soil structural quality, compaction and land management. **European Journal of Soil Science**. Edinburgh, v. 48, p.593-601, 1997.

BASTOS, R.S.; MENDONÇA,E.S.; ALVAREZ, V.H.; CORRÊA, M.M.; COSTA, L.M. Formação e estabilização de agregados do solo influenciadas por ciclos de umedecimento e secagem após adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. . **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.1, jan/fev, 2005.

BAYER, C.; MARTIN NETO, L.; MIELNICZUK, J.; CERETTA, C.A. Effect o no-till cropping on soil organic matter in a sandy clay loam Acrisol from Southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.53, p.95-104, 2000.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J. A.; LEITE, D.; AMARAL, A. J.; ZOLDAN, W.A. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas as do campo nativo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.1, jan/fev, 2004.

BERTOL, I.; LEITE, D.; ZOLDAN Jr. Decomposição do resíduo de milho e variáveis relacionadas. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.2, mar/abr, 2004.

BONFANTE, D.A. **Efeito de sistemas de manejo de solo sobre algumas propriedades físicas em Latossolo Vermelho-escuro**. Santa Maria, 1983. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal Santa Maria.

CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; CENTURION, M.A.P.C.; PRADO, R.M. Manejo mecânico e cultura de cobertura na entrelinha da seringueira e os atributos físicos de uma Latossolo Vermelho no planalto paulista. **Revista Árvore**. Viçosa, v.28, n.1, p.7-13, 2004.

CERETTA, A.A.; BASSO, C.J.; HERBES, M.G.; POLETTO, N.; SILVEIRA, M. J. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Revista Ciência do Rural**. Santa Maria, v. 32, n.1, jan/fev, 2002.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.2, p.289-298, fev. 1999.

CORRÊA, J.C. Efeito de sistemas de cultivo na estabilidade de agregados de uma Latossolo Vermelho-Amarelo em Querência, MT. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n.2, p.203-209, fev. 2002.

CRUZ, A.C.R.; PAULETTO, E.A; FLORES, C.A; SILVA, J.B. Atributos físicos e carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.6, p.1-5, nov-dez, 2003. Disponível em:http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832003000600015&lng=pt&nrm=isso&tling=pt. Acesso em: 15/07/2005.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas de plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, n.3, mai. Fev., 2003.

DALLA ROSA, A.D. **Práticas mecânicas e culturais na recuperação de características físicas de solos degradados pelo cultivo-solo Santo Ângelo (Latossolo Roxo Distroférico)**. Porto Alegre, 1981. 136 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul..

DIAS JUNIOR, M.S.; MIRANDA, E.E.V. Comportamento da curva de compactação de cinco solos da região de Lavras (MG). **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.24, n.2, p.337-346, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro, 2 ed., p. 212, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA-EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, p. 1-412, 1999.

EKWUE, E.I. Organic-matter, effects on soil strength properties. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.16, p.289-297, 1990.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A; FAGUNDWS, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.1097-1104, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v27n6/19204.pdf>. Acesso em 15/007/2005.

FRAZLUEBBERS, A.J.; ARSHAD, M.A. Soil organic matter pools with conventional and zero tillage in a cold, semiarid climate. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam v.39, p.1-11, 1996.

FREITAS, P. L.; BLANCANEUX, P.; GAVINELLI, E.; LARROUY, M. C. L.; FELLER, C. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n.1, p.157-170, jan. 2000.

GOEDERT, W. J.; SCHERMACK, M. J.; FREITAS, F. C. Estado de compactação do solo em áreas cultivadas no sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 37, n.2, p.223-227, fev. 2002.

HERMAN, B. CAMERON, K.C. Structural changes in a silt loam under ong-germ convencional or minium tillage. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, v.26, p.139-150, 1993.

IMHOFF, S. D. C. **Indicadores de qualidade estrutural e trafegabilidade de latossolos e argissolos vermelhos**. Piracicaba, 2002. 94 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Setor de Solos e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**. Agronômica Ceres. São Paulo, p. 262, 1979.

LANGE, A. Palhada e nitrogênio afetando propriedades do solo e rendimento de milho em sistema de plantio direto no cerrado 158f. **Tese de mestrado da Universidade Federal de Lavras**. Lavras, 2002.

LAURIANI, R. A.; RALISCH, R.; TAVARES FILHO, J.; SOARES, D.S. RIBON, A.; Distribuição de poros de um Latossolo Vermelho Eutroférico na fase de implantação de um sistema de plantio direto. **Engenharia Agrícola. Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. Jaboticabal, v.24, n.2, p. 347-354, mai/ago, 2004.

LONGO, R.M.; ESPÍNDOLA, C.R.; RIBEIRO, A. I. Modificação na estabilidade de agregados no solo decorrentes da introdução de pastagens em áreas de cerrado e floresta amazônica. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.3, n.3, p.276-280, set.-dez, 1999.

MIOLA, E.C.C.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MARQUE, M.G.; GUIDINI, E. Mineralização do carbono e do nitrogênio de palha de aveia influenciada pela disponibilidade de nitrogênio e pelo grau de contato com o solo. Disponível em: <http://www.ufsm.br/ppgcs/congressos/Fertbio2004/Mb40.pdf>. Acesso em: 20/04/06

MORAES, M.H.; BENEZ, S.H. Efeito de diferentes sistemas de preparo do solo em algumas propriedades físicas de uma Terra Roxa Estruturada e na produção de milho para um ano de cultivo. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.16, n.2, p.31-41, 1996.

MUZZILLI, O. Manejo da matéria orgânica no sistema de plantio direto: A experiência no Estado do Paraná. Palestra apresentada no 3º Simpósio sobre Rotação soja/milho no plantio direto, Promovido pela POTAFOS, Piracicaba, julho/2002. **Informações Agronômicas**. nº 100, dez. 2002.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S.; CURI, N. Alterações estruturais e comportamento compressivo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 38, n.2, p.291-299, 2003.

PEREIRA, A.R.; ALGELOCCI, R.L.; SENTELHAS, P.C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. 1 ed. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PEREIRA, J.O. Resistência do solo à penetração em função do sistema de cultivo e teor de água do solo. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.6, n.1, p.171-174, 2002.

RADCLIFFE, D.E.; TOLLNER, E.W; HARGROVE, W.L. Effect of tillage practices on infiltration and soil strength of a typic Hapludult soil after ten years. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, Versailles, v.52, p.789-804, 1988.

SANTOS, H.P.; TOMN, G.O Disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica em função dos sistema de cultivo e manejo do solo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.33, mai-jun, p.477-486, 2003.

SECCO, D.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, p.407-414, 2005.

STENGEL, P. Analyse de la porosité. **Seminare CEE-agrimed**. 14-18 MARS, 1983.

SILVA, M. L N.; CURI, N.; BLANCANEAS, P. sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 35, n.12, p.2485-24921, dez. 2000.

SILVA, C.C.; SILVEIRA, P.M. Influência de sistema agrícola em característica químico-físicas do solo. **Ciência Agrotecnica**. Lavras, v.26, n.3, p.505-515, mai, 2002.

SOUZA, W.J.O.; MELO, W.J. Matéria Orgânica de um Latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.1113-1122, 2003.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, n.1, p.83-91, jan. 1999.

THEODORO, V.C.A.; ALVARENGA, M.I.N.; GUIMARÃES, R.J.; MOURÃO JUNIOR, M. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob mata nativa e sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional. **Planeta orgânico**. Disponível em: <http://www.planetaorganico.com.br/trabVanesa2.htm>. Acesso em: 20/04/06.

TORMENA, C.A. FRIEDRICH. R.; PINTRO, J.C.; CPSTA, A. C. S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.28, n.6, p.1-5, nov-dez, 2004.

TORMENA, C.A; BARBOSA, M. C.; COSTA, A.C. S.; GONÇALVES, C.A. Densidade, porosidade e resistência a penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Scientia Agrícola**. Piracicaba, v.59, n.4, p.795-801, out/dez. 2002.

TORRES, J.L.R.; PEREIRA, M.G.; ANDRIOLI, I.; POLIDORO, J.C.; FABIAN, A.J.N. Decomposição e liberação de nitrogênio de resíduos culturais de plantas de cobertura em um solo de cerrado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**. Viçosa, v.29, n.4, jul-ag, 2005.

VARRELA, C.A.; MEZA-MONTALVO, M.F. Efeitos do sistema de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas do solo. **In. Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**. XXIX. SBEA. Fortaleza, s/p, 2000.

VENZKE S.P.F. Biomassa microbiana no solo sob sistema de plantio direto na região de Campos Gerais, Tibagi, Paraná. **Tese de Doutorado da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz**. Disponível em: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/111138/tde-10022004-151043/. Acesso em: 21/04/2005.

VIERA, M.J.; MUZILLI, O. Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 19, n.7, p.873-882, maio, 1984.

WEDLING, B.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J. C. L. Carbono orgânico e estabilidade de agregados em um Latossolo Vermelho sob diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 40, n.5, p.487-494, maio, 2005.