

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO
VERMELHO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB
SISTEMAS DE MANEJO**

Alba Leonor da Silva Martins

Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL - SÃO PAULO - BRASIL

Outubro de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO
VERMELHO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB
SISTEMAS DE MANEJO**

Alba Leonor da Silva Martins

Orientador: Prof. Dr. Itamar Andrioli

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO –BRASIL

Outubro de 2010

M386i Martins, Alba Leonor da Silva
Indicadores de qualidade de um Latossolo Vermelho e
produtividade do milho sob sistemas de manejo/ Alba Leonor da Silva
Martins . -- Jaboticabal, 2010
xiii, 94 f. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientador: Itamar Andrioli

Banca examinadora: José Frederico Centurion, Adilson Pelá,
Renato de Mello Prado, Marlene Cristina Alves

Bibliografia

1. Atributos físicos 2. Índice S. 3. Fertilidade do Solo. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.452:633.15

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

ALBA LEONOR DA SILVA MARTINS - Nasceu em 20 de fevereiro de 1968 em São Luís, MA. Em 1989 ingressou na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA) no curso de Agronomia onde obteve o título de Engenheira Agrônoma em 1994 e onde em 1996 concluiu a especialização em Avaliação e Manejo de Solos Tropicais, em 2002 a especialização em Ensino de Ciências: Habilitação em Biologia e em 2006 o Mestrado em Agroecologia. Em 2007 ingressou na Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal, no curso de Doutorado em Agronomia (Ciência do Solo). A maior parte das experiências profissionais foi voltada para extensão rural em organizações não governamentais e no Serviço Nacional da Aprendizagem Rural.

A *cima de tudo o amor*
 Ainda que eu falasse
 línguas, as dos homens e
 dos anjos, se eu não tivesse o amor,
 seria como o sino ruidoso ou como
 címbalo estridente

Ainda que eu tivesse o dom da
 profecia, o conhecimento de todos os
 mistérios e de toda a ciência; ainda
 que eu tivesse toda a fé, a ponto de
 transportar montanhas, se não
 tivesse o amor, eu não seria nada.

Ainda que eu distribuísse todos os
 meus bens aos famintos, ainda que
 entregasse o meu corpo às chamas,
 se não tivesse o amor, nada disso me
 adiantaria.

O amor é paciente, o amor é
 prestativo; não é invejoso, não se
 ostenta, não se incha de orgulho.
 Nada faz de inconveniente, não
 procura seu próprio interesse, não se
 irrita, não guarda rancor.

Não se alegra com a injustiça, mas se
 regozija com a verdade. Tudo
 desculpa tudo crê, tudo espera, tudo
 suporta.

O amor jamais passará. As profecias
 desaparecerão, as línguas cessarão,
 a ciência também desaparecerá. Pois

o nosso conhecimento é limitado;
 limitada é também a nossa profecia.

Mas, quando vier a perfeição,
 desaparecerá o que é limitado.

Quando eu era criança, falava como
 criança, pensava como criança,
 raciocinava como criança. Depois que
 me tornei adulto, deixei o que era
 próprio de criança.

Agora vemos como em espelho e de
 maneira confusa; mas depois
 veremos face a face. Agora o meu
 conhecimento é limitado, mas depois
 conhecerei como sou conhecido.

Agora, portanto, permanecem essas
 três coisas: a fé, a esperança e o
 amor. A maior delas, porém, é o
 amor.

I Coríntios 13, 1-13

*Às minhas filhas, Andiara, Klyssya e Klenda,
meus maiores amores, razão de toda minha vida.*

*Aos meus queridos e amados pais, João Martins
Filho e Raimunda da Silva Martins e irmãs Aura
Celeste e Ana Odete, sobrinho Fernando, amigo
Antonio Sá e tia mãe Santuca.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida a mim concedida com suas maravilhosas dádivas.

À minha família por todo amor, apoio, incentivo e paciência.

Ao Prof. Dr. Itamar Andrioli, meu orientador, por ter me ensinado que os verdadeiros ensinamentos só valem à pena se aliados às coisas simples da vida e às relações humanas. Excelente exemplo de ser humano.

À UNESP, Câmpus de Jaboticabal, e ao Programa de Pós-Graduação pela oportunidade de realização da tese e ao coordenador Prof. Dr. Eduardo Furlani.

À CAPES pela concessão de bolsa de estudo.

A Tetsuo Tsuji pela grande contribuição para realização deste momento.

A Getúlio, admirável amigo, por seu bom caráter e preciosas colaborações.

A Fabiana, amiga que me conduziu nos momentos mais difíceis.

A Rodrigo e Eurico e todos os colegas da pós-graduação pela ajuda e apoio.

A Amanda Hernandez e Sísara, pelas palavras de apoio e incentivo.

Aos professores no doutorado, Dr.Afonso Lopes, Dr.Eduardo Furlani, Dra.Célia Bueno, Dr.Gener, Dr.Ferraudo, Dr.Barbosa, Dr.Corá, Dr.Coutinho, Dr.Manoel Evaristo, de cada saber ensinado, hoje um pouco do meu ser.

Aos demais professores do departamento de Solos: Dr.Centurion, Dr.Natale, Dr.Renato, Dr.Marcílio, Dr. Marques JR, Dra. Carolina pelo apoio quando precisei.

Aos professores da Comissão Examinadora: Dr.Pelá, Dra Marlene, Dr.Centurion, Dr. Renato, Dr. Zanini, Dr. Afonso Lopes, Dra. Tereza pelas contribuições na tese.

Aos funcionários da Pós-Graduação e da Biblioteca, pelo atendimento e auxílio.

Aos funcionários da Fazenda FCAV/UNESP: Marcelo, Fran, Ferrari, Claudinei, Toninho, Canoa, Tilápia e João, pela atenção dedicada nos trabalhos de campo.

Aos colegas do Laboratório de Solos: Célia Regina Muniz, Maria Inês, Cláudia Cirilo, Luis Souza, Orivaldo Gomes, Dejair Silva, Anderson Silva, Mauro Alves, Ademir e Cristiano, cada qual com sua colaboração imprescindível neste trabalho.

A todos que colaboraram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

MUITO OBRIGADA!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE TABELAS	x
RESUMO	xii
SUMMARY	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sistemas de manejo do solo: conservacionistas e convencionais	3
2.2. Qualidade do solo.....	4
2.3. Indicadores da qualidade física do solo	6
2.3.1. Densidade e porosidade do solo.....	6
2.3.2. Índices de agregação e relação com teor de carbono orgânico	9
2.3.3. Curva de retenção de água e Índice S.....	12
2.4. Indicadores da qualidade química do solo.....	13
2.4.1. Teor de Fósforo	13
2.4.2. Teores de Potássio , Cálcio e Magnésio.....	14
2.4.3. pH e acidez potencial	15
2.4.4. Capacidade de troca de cátions e matéria orgânica.....	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1. Histórico da área experimental.....	17
3.2. Localização, solo e clima.....	18
3.3. Delineamento experimental e operações de preparo.....	19
3.4. Condução do experimento.....	21
3.5. Avaliação do experimento.....	22
3.5.1. Análise da fertilidade do solo.....	22
3.5.2. Determinação dos índices de agregação e C orgânico.....	23
3.5.3. Determinação da retenção de água no solo e do Índice S.....	24

3.5.4. Determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade e microporosidade do solo.....	25
3.5.5. Avaliação da produtividade do milho.....	26
3.5.6. Análise Estatística.....	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo.....	27
4.2. Curvas de retenção de água no solo e Índice S.....	29
4.3. Índices de agregação e C orgânico nas camadas 0-5 e 5-10 cm.....	34
4.3.1. Grau de Floculação da argila	38
4.3.2. Diâmetro médio ponderado.....	39
4.3.3. Diâmetro médio geométrico.....	40
4.3.4. Índice de estabilidade de agregados.....	41
4.3.5. Agregados maiores que 2mm.....	42
4.3.6. Relação entre índices de agregação e C orgânico.....	44
4.4. Indicadores da qualidade química do solo.....	44
4.5. Produtividade do milho.....	54
5. CONCLUSÕES.....	57
6. REFERÊNCIAS	58
APÊNDICES.....	75

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Curvas de retenção de água nas camadas a) 0-5, b) 5-10, c) 10-20 e d) 20-30 cm em função dos sistemas de manejo.....	30

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Valores de precipitação (mm) e temperatura média(°C) mensal nos de 2007, 2008, 2009 e 2010.....	19
Tabela 2. Análise química do solo no ano agrícola 2007/2008 na camada 0-20 cm.....	22
Tabela 3. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade em função de sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.....	28
Tabela 4. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 para os valores de microporosidade.....	29
Tabela 5. Valores médios dos parâmetros m, n, θ_{res} , θ_{sat} e do índice S para os sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.....	32
Tabela 6. Correlação de Pearson entre o índice S e o teor de carbono orgânico (C orgânico), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e produtividade do milho 2008/2009 (Prod 08/09).....	33
Tabela 7. Teor carbono orgânico (C orgânico), grau de flocculação (GF), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados > 2 mm (AGRI) nos sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5 e 5-10 cm.....	35
Tabela 8. Interação entre os sistemas de manejo e camadas 0-5 e 5 -10 cm para os valores de carbono orgânico (C orgânico), grau de flocculação (GF), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados > 2 mm	

(AGRI).....	36
Tabela 9. Valores de pH (CaCl_2), C orgânico, P (resina), K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC, e V% nos sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.....	45
Tabela 10. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de pH (CaCl_2), C orgânico e P (resina) do solo.....	47
Tabela 11. Interação entre os sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de Ca, Mg e K do solo.....	49
Tabela 12. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de SB e CTC do solo.....	51
Tabela 13. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de H+Al e V% do solo.....	52
Tabela 14. Produtividade do milho nas safras 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010.....	55
Tabela 15 Interação entre sistemas de manejo e adubação de cobertura para produtividade do milho na safra 2009/2010.....	56

INDICADORES DE QUALIDADE DE UM LATOSSOLO VERMELHO E PRODUTIVIDADE DO MILHO SOB SISTEMAS DE MANEJO

RESUMO - A avaliação da qualidade do solo é considerada um componente fundamental na sustentabilidade dos sistemas de produção agrícolas. O objetivo deste estudo foi avaliar os indicadores físicos e químicos de qualidade do solo e a produtividade do milho sob sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso. O experimento foi conduzido na fazenda experimental da UNESP/FCAV - Jaboticabal/SP, utilizando o delineamento em blocos casualizados com três repetições, em esquema de parcelas sub-subdivididas. Os tratamentos principais constituíram de nove sistemas de manejo do solo (parcelas), adubação de cobertura com N no milho (subparcelas) e as camadas: 0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm (sub-subparcelas). Os nove sistemas de manejo foram: 1. Preparo do solo com arado de aiveca (AI) + grade niveladora; 2. Plantio direto com feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) após preparo com arado de aiveca - (D_AI_FP); 3. Plantio direto com lablab (*Dolichus lablab*) após preparo com arado de aiveca (D_AI_LL); 4. Plantio direto com feijão de porco após preparo com arado de disco (D_DS_FP); 5. Plantio direto com lablab após preparo com arado de disco (D_DS_LL); 6. Plantio direto com feijão de porco após preparo com grade pesada (D_GR_FP); 7. Plantio direto com lablab após preparo com grade pesada (D_GR_LL); 8. Preparo do solo com arado de disco (DS) + grade niveladora; 9. Preparo do solo com grade pesada (GR) + grade niveladora. Foram avaliados: porosidade total, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo, diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico, grau de flocculação da argila, índice de estabilidade de agregados, agregados maiores que 2 mm, pH, carbono orgânico, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, acidez potencial, soma de bases, capacidade de troca de cátions, saturação de bases, curva de retenção de água no solo, índice S e produtividade do milho. Os indicadores da qualidade física como densidade do solo e o sistema poroso não variaram entre os sistemas de

manejo. Os indicadores de qualidade química apresentaram níveis variando de médio a alto de fertilidade do solo em todos os sistemas de manejo. Os índices de agregação diferenciaram os sistemas plantio direto dos sistemas convencionais, sendo superior nos sistemas plantio direto na camada 0-5 cm. O índice S indicou boa qualidade estrutural em todos os sistemas avaliados e mostrou-se mais relacionado ao sistema poroso do que aos teores de C orgânico do solo. A produtividade do milho aumentou a cada ano em todos os sistemas de manejo. Nos sistemas plantio direto, com uso de leguminosas em pré-safra, ocorreu melhoria da produtividade, mesmo sem adubação de cobertura com nitrogênio.

Palavras-chave: atributos físicos, índice S, fertilidade do solo

QUALITY INDICATORS OF OXISOL AND PRODUCTIVITY OF MAIZE UNDER MANAGEMENT SYSTEMS

SUMMARY - The assessment of soil quality is considered a fundamental component in the sustainability of agricultural production systems. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical indicators of soil quality and productivity of maize under soil management systems on an clayey Oxisol. The experiment was conducted at the experimental farm of UNESP/FCAV - Jaboticabal/SP, using a randomized complete block with three replications in split-split-plot design. The main treatments were nine management systems (plots), top dressing with nitrogen in maize (subplots) and the layers: 0-5, 5-10, 10-20 and 20-30 cm (sub-subplots). The nine management systems were: 1. Aiveca plow (AI) + leveling bars; 2. No-tillage with jackbean (*Canavalia ensiformis*) under aiveca (D_AI_FP); 3. No-tillage with lablab (*Dolichus lablab*) after aiveca (D_AI_LL); 4. No-tillage with jackbean after disk (D_DS_FP); 5. No-tillage with lablab after disk (D_DS_LL); 6. No-tillage with jackbean after heavy bars (D_GR_FP); 7. No-tillage with lablab after heavy bars (D_GR_LL); 8. Disk plow (DS) + leveling bars; 9. Heavy bars (GR) + leveling bars. Were evaluate: total porosity, macroporosity, microporosity, bulk density, the mean weight diameter aggregates, the mean geometric diameter of aggregates, the degree of clay flocculation, stable aggregates index, percentage of stable aggregates > 2 mm, pH, organic carbon, exchangeable calcium, exchangeable magnesium, exchangeable potassium and phosphorus, sum bases, potential CEC, cation exchange capacity, base saturation, retention curve of soil water, S index and maize yield. The physical quality indicators, bulk density and porous system did not evidenced differences among the soil management systems. The chemical quality indicators ranged from medium to high in all management systems. The aggregation indexes differentiated the no-tillage systems to conventional systems, that was higher on no-tillage systems in the layer 0-5 cm. The S index indicated good structural quality

in all systems evaluated and shown to be more related to the porous system than the levels of soil organic carbon. The maize yield increased each year in all management systems. In no-tillage systems, with the use of leguminous in pre-season, the yield was better, no top dressing with nitrogen.

IndexTerms: physical attributes, S index, soil fertility

1. INTRODUÇÃO

O solo pode ser considerado o alicerce dos sistemas de produção agrícola e como todo alicerce precisa ser sustentável para garantir alimento para as gerações futuras.

O manejo do solo envolve um conjunto de práticas voltadas para o aumento da produtividade das culturas, mas que precisam estar aliadas a cada realidade local, considerando o clima, as classes de solo, a adaptação das culturas e o homem, integrando as relações solo-planta-atmosfera.

O conjunto dessas práticas, se bem conduzidas, tem reflexos na qualidade do solo que se manifesta por meio dos seus indicadores de qualidade, tais como melhorias na retenção de água, redução nas perdas de solo, aumento da atividade biológica do solo, melhoria nas trocas de calor e gases com a atmosfera, e melhor disponibilidade de ar, água e nutrientes para as plantas.

O atual desafio da comunidade científica não é mais alcançar elevadas produtividades, pois a tecnologia atual e as variedades resistentes não são mais entraves. Mas, demonstrar que os manejos conservacionistas colaboram para o equilíbrio ambiental e para a preservação da vida no planeta.

A necessidade de pesquisas contínuas e de longo prazo é essencial para demonstração dessas respostas em sistemas de manejo conservacionistas, especialmente em regiões tropicais como o Brasil, onde altas temperaturas associadas à umidade dificultam a manutenção de resíduos de cobertura no solo e cuja constatação de modificações em atributos do solo torna-se inviável em curto espaço de tempo.

O desafio de viabilizar sistemas agrícolas produtivos sustentáveis tem mostrado que a fertilidade ou qualidade do solo não deve ser indicada apenas por atributos químicos como acidez, disponibilidade de nutrientes e teor de matéria orgânica, mas também por atributos físicos como armazenamento e conservação de água, armazenamento e difusão do calor e permeabilidade ao ar e água passariam a ter relevância nessa avaliação (KLUTHCOUSKI et al., 2000).

KARLEN et al. (1997) definiram o conceito de qualidade do solo como: “a capacidade de um específico tipo de solo funcionar”, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade do ambiente e sustentar a saúde humana.

A capacidade do solo funcionar pode ser refletida por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, também conhecidas como indicadores da qualidade do solo (SHUKLA et al., 2006).

A hipótese estabelecida nesta pesquisa foi de que a conversão de sistemas convencionais em sistemas conservacionistas, como o sistema plantio direto, proporcionam diferenciação nos atributos físicos e químicos do solo e na produtividade do milho entre os sistemas de manejo pelo efeito do longo prazo.

Este trabalho teve por objetivo avaliar alguns indicadores físicos e químicos de qualidade do solo e a produtividade do milho sob sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho distrófico argiloso.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Sistemas de manejo do solo: conservacionistas e convencionais

Sistemas de manejo conservacionista são aqueles que se caracterizam por promoverem o revolvimento mínimo do solo e por manterem índices relativamente altos de porcentagem de cobertura do solo por resíduos vegetais. Os resíduos das culturas na superfície formando um “mulch” têm contribuído, nessas condições, para aumentar a conservação da água no solo e a estabilidade dos agregados, diminuindo a temperatura do solo e as perdas de partículas de solo e água por erosão hídrica (VIEIRA et al., 1978; SIDIRAS et al., 1985).

O sistema plantio direto constitui-se em modelo de sistema conservacionista, enquanto os sistemas de manejo convencional implicam manipulação do solo com objetivo de otimizar as condições de germinação e emergência das sementes.

Nos sistemas convencionais, implementos como discos reduzem o grau de cobertura do solo e pulverizam os agregados superficiais, afetando as condições de superfície (MERTEN, 1994). O arado de disco é um implemento que corta e pica a vegetação da superfície, incorporando-a ao solo a uma profundidade que varia de 15 a 25 cm . A aração se constitui uma operação que engloba o corte, a elevação e a inversão de uma camada de terra, a leiva. Essa operação é realizada pela peça ativa do arado, o disco, nos arados de disco e aiveca nos arados de aiveca (GALETI, 1981).

Os arados de aiveca promovem melhor a inversão da leiva e apresentam maior capacidade de penetração, invertendo as camadas do solo com menor esboroamento. Os arados de discos trabalham melhor em condições mais adversas, mas a leiva é invertida em inclinações menores e o efeito esboroamento do solo é maior. As grades pesadas geralmente trabalham em profundidades ainda menores e não conseguem inverter a leiva com a mesma eficiência dos arados (BALASTREIRE, 1990).

Segundo BERTOL et al. (2004) as alterações físicas, químicas e biológicas do solo são mais pronunciadas nesses sistemas do que nos conservacionistas, pelo fato do revolvimento alterar a densidade, o volume e a distribuição de tamanho de poros e a estabilidade dos agregados, influenciando na infiltração da água, erosão hídrica e no crescimento e desenvolvimento das plantas.

2.2 Qualidade do solo

KARLEN et al. (1997) definiram o conceito de qualidade do solo como: “a capacidade de um específico tipo de solo funcionar”, dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade biológica, manter ou aumentar a qualidade do ambiente e sustentar a saúde humana.

A capacidade do solo funcionar pode ser refletida por suas propriedades físicas, químicas e biológicas, também conhecidas como indicadores da qualidade do solo (SHUKLA et al., 2006).

ISLAM e WEIL (2000) afirmaram que a qualidade do solo, sendo um estado funcional complexo, não pode ser medida diretamente, mas pode ser inferida a partir de propriedades do solo, designadas propriedades indicadoras da qualidade do solo. Esses autores compararam o efeito de diferentes sistemas de manejo sobre a qualidade do solo, tendo o manejo conservacionista como padrão de comparação. A partir da avaliação do efeito dos manejos sobre treze propriedades indicadoras buscaram agregar aquelas mais consistentemente afetadas, em um índice de qualidade do solo. O índice seria um valor que integra muitas medidas de propriedades chaves do solo.

As três propriedades que se mostraram mais promissoras para inclusão em um índice de qualidade do solo foram biomassa microbiana total, biomassa microbiana ativa, quociente metabólico (ou taxa de respiração específica), sendo essas as mais significativamente influenciadas pelo manejo conservacionista, em mais de 75% das comparações. Uma quarta propriedade também fortemente

influenciada pelo manejo conservacionista foi a estabilidade de agregados e os demais atributos físicos avaliados que têm forte relação com a matéria orgânica, tais como macroporosidade e densidade do solo.

KARLEN et al. (1994) explicam que as práticas de manejo que adicionam ou mantêm carbono orgânico no solo parecem estar entre as mais importantes para restabelecer, manter ou melhorar a qualidade do solo. Essa explicação é norteadora para a busca de indicadores de qualidade do solo, pois mostra que os atributos candidatos a indicadores devem estar relacionados com a matéria orgânica. Porém, os critérios de escolha do indicador de qualidade do solo devem ser dependentes dos objetivos que se tem e do contexto. Além do mais, deve-se considerar a realidade local e as experiências dos agricultores os quais podem ser importantes e ajudar na avaliação.

Os indicadores de qualidade do solo podem ser distinguidos em três grandes grupos: os efêmeros cujas alterações ocorrem em curto espaço de tempo ou são modificados pelas práticas de cultivo como: densidade do solo, pH, disponibilidade de nutrientes; os permanentes que são inerentes ao solo, tais como profundidade, camadas restritivas, textura, mineralogia e, entre esses dois extremos, estão os indicadores intermediários que demonstram uma crítica influência da capacidade do solo em desempenhar funções, tais como: agregação, biomassa microbiana, quociente respiratório, carbono total e ativo. Estes últimos são os de maior importância para integrar um índice de qualidade do solo (ISLAM e WEIL, 2000).

ASHAD e MARTIN (2002) em suas pesquisas buscando limites críticos para indicadores de qualidade do solo em agroecossistemas concluíram que: a) Para quantificar e avaliar mudanças na qualidade do solo, várias combinações de práticas de manejo e suas interações com diferentes indicadores devem ser consideradas. b) Pesquisas devem ser conduzidas em diferentes locais. c) Devem ser realizados experimentos de longo prazo (10-30 anos) para estabelecer efeitos positivos ou negativos dos indicadores do solo em diferentes usos no sentido de desenvolver modelos e ações apropriadas d) Pesquisas devem ser empreendidas

para o desenvolvimento de técnicas simples para uso dos agricultores e extensionistas.

2.3 Indicadores da qualidade física do solo

2.3.1. Densidade do solo e porosidade do solo

Algumas práticas de manejo e das culturas provocam alterações nas propriedades físicas do solo, as quais podem ser permanentes ou temporárias. Assim, o interesse em avaliar a qualidade física do solo tem sido incrementado por considerá-lo como um componente fundamental na manutenção e/ou sustentabilidade dos sistemas de produção agrícola (LIMA, 2004).

A relação entre a estrutura do solo e a produtividade das culturas ainda é pouco compreendida, em virtude das dificuldades em quantificar os vários atributos físicos do solo ligados à estrutura. A variabilidade espacial e temporal da estrutura do solo é um dos fatores que dificultam essa quantificação (DEXTER, 1988). Além disso, alguns atributos do solo variam conjuntamente (TORMENA et al., 1998).

Para LETEY (1985), os atributos físicos do solo relacionados com a produtividade das culturas podem ser divididos em duas categorias: (a) aqueles diretamente relacionados com o desenvolvimento das plantas, isto é, água, oxigênio, resistência do solo à penetração das raízes e temperatura; e (b) os indiretamente relacionados, tais como textura, agregação, porosidade e densidade do solo.

Os atributos físicos do solo do item (a) afetam diferentes processos fisiológicos, como a fotossíntese e os crescimentos radicular e foliar, enquanto os mencionados no item (b) afetam a produtividade das culturas devido a sua influência sobre a retenção de água, a aeração, a temperatura e a resistência do solo à penetração das raízes.

SCHOENHOLTZ et al. (2000); SINGER e EWING (2000) confirmam que os atributos mais amplamente utilizados como indicadores de qualidade física do solo

são aqueles que levam em conta: a profundidade efetiva de enraizamento, a porosidade total e a distribuição e tamanho dos poros, a distribuição do tamanho das partículas, a densidade do solo, a resistência do solo à penetração das raízes, o intervalo hídrico ótimo, o índice de compressão e a estabilidade dos agregados.

Alguns atributos físicos do solo, como densidade e espaço poroso podem ser utilizados como indicadores da qualidade, de acordo com o manejo a que o solo está sendo submetido. Uma avaliação contínua, no tempo, destes atributos físicos do solo permite monitorar a eficiência ou não desses sistemas de manejo quando se objetiva estabilidade estrutural (SECCO et al., 2005). As modificações nessas propriedades ocasionadas pelo manejo inadequado resultam em decréscimo da produção (RADFORD et al., 2001).

Porém, COSTA et al. (2003) consideram que independentemente do sistema de manejo utilizado, o uso do solo para fins agrícolas promove alterações nas suas propriedades físicas. Esses autores ao avaliar os efeitos das propriedades físicas durante o desenvolvimento da cultura do milho e da soja, tanto em plantio direto quanto no plantio convencional, concluíram que no plantio direto ocorreram melhores condições estruturais. Isto foi evidenciado pela redução da densidade do solo e também pela estabilidade dos agregados, menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do solo, o que, juntamente com a melhoria nas demais propriedades físicas do solo, pode ter contribuído para os maiores rendimentos de soja e milho.

Resultados diferentes foram encontrados por SECCO et al. (2005), que ao estudarem a influência de cinco sistemas de manejo ao longo de três anos nos atributos físicos do solo e na produtividade das culturas da soja, trigo e milho concluíram que a densidade apresentou valor superior nos sistemas de manejo que sofreram menor mobilização. Porém, os valores de porosidade total do solo apresentaram comportamento inverso. As produtividades da soja e do milho não diferiram entre os sistemas de manejo utilizados, indicando que para essas culturas as mudanças que ocorreram no estado estrutural do solo não comprometeram sua produtividade.

Estes resultados estão de acordo com STONE e SILVEIRA (2001), ao afirmarem que o sistema de plantio direto proporcionou maiores valores de densidade e microporosidade e, em consequência, menor porosidade total e macroporosidade. A densidade do solo influenciou em diversos atributos do solo que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas, tais como: aeração, condutividade da água, temperatura, disponibilidade de nutrientes e resistência à penetração .

O solo sob plantio direto costuma apresentar maiores valores de densidade e microporosidade nas camadas superficiais do perfil em detrimento dos valores de porosidade total e macroporosidade (VIEIRA e MUZILLI,1984). Isto ocorre principalmente em função do não revolvimento do solo nesse sistema.

O aumento da densidade do solo, nos primeiros anos de plantio direto, deve-se ao arranjo natural que o solo tende a apresentar quando deixa de sofrer manipulação mecânica. Entretanto, com o passar dos anos, é de se esperar que a densidade decresça devido ao aumento da matéria orgânica na parte superficial, que favorece um melhor desenvolvimento da estrutura do solo (FERNANDES et al., 1983).

SOUZA et al. (2004) confirmam dizendo que essa diminuição da densidade nos sistemas de manejo não mecanizados, ocorre devido ao baixo peso específico da matéria orgânica, portanto, implicando em melhor qualidade física.

ALBUQUERQUE (1995), trabalhando com milho, observou que a presença desta cultura com produção significativa de massa seca, deixada na superfície do solo, pode ser um dos fatores para observação de menor densidade no solo sob sistema de plantio direto.

Vários autores têm estudado o comportamento da porosidade total e densidade do solo em diferentes sistemas de manejo e estabelecido alguns limites. BEUTLER et al. (2001) observaram, na profundidade de 30 cm, que a densidade do solo apresentou valores de 1,07; 1,31 e 1,39 Mg m⁻³ respectivamente, para área preservada, plantio direto e manejo convencional, enquanto na profundidade de 0-5 cm a densidade variou na amplitude de 0,54 a

0,68 Mg m⁻³, não sendo verificadas diferenças significativas entre os sistemas, exceto o plantio direto que apresentou em média valores mais elevados. Ainda para esses autores, a porosidade total variou inversamente com a densidade do solo.

ARAÚJO et al. (2004), ao comparar um solo sob sistema convencional de preparo com aração e gradagem e a mata nativa, observaram que o solo sob cultivo apresentou maiores valores de densidade e menores valores de porosidade total. ARSHAD et al. (1996) estabeleceram que valores de densidade para solos argilosos variando entre 1,70 a 1,75 Mg m⁻³ são considerados críticos e restritivo ao desenvolvimento radicular.

RIBON et al. (2002) estabeleceram que independentemente do manejo empregado, para o limite crítico (10%) considerado como condição mínima para aeração, a densidade deverá ser inferior a 1,36 kg dm⁻³. ARGENTON et al. (2005), também baseados no critério da porosidade de aeração mínima para as trocas gasosas, quando a densidade do solo for superior a 1,36 Mg m⁻³ sugeriram o uso de práticas de cultivo para reduzir a densidade e favorecer o crescimento radicular, principalmente pela introdução de culturas que aportam grande quantidade de resíduos orgânicos.

VOORHESS e LINDSTROM (1984) informaram que são necessários três a quatro anos, sob condições de manejo conservacionista, para desenvolver porosidade mais favorável na camada de 0-15 cm, comparado a solos arados e escarificados continuamente.

2.3.2. Índices de agregação e relação com teor de carbono orgânico

A estrutura do solo é definida como o arranjo dos poros e partículas do solo (CANDAN e BROQUEN, 2009). Agregados são componentes da estrutura do solo (OADES, 1984) que resultam de um arranjo das partículas, decorrentes de processos de floculação e cimentação (DUIKER et al., 2003). Entre as substâncias cimentantes que agem na agregação e estabilização, as principais são: argila,

sílica coloidal, compostos orgânicos, metais polivalentes, carbonato de cálcio, óxidos de ferro e alumínio, exsudatos orgânicos e substâncias orgânicas provenientes da ação dos microorganismos. Além dessas, existem os agentes de agregação, representados pelo clima (ciclos de umedecimento e secagem), raízes, microorganismos e pelo próprio tracionamento do solo (SILVA e MIELNICKZUK, 1997).

A predominância do íon cálcio, por exemplo, no complexo de troca, além de favorecer a flocculação adequada das argilas contribui para intensa atividade biológica que favorece a formação de agregados. Por outro lado, com predominância de sódio ou potássio no complexo de troca, ocorre dispersão excessiva dos colóides e, conseqüentemente, perda da estabilidade dos agregados (FASSBENDER, 1986).

Práticas que envolvem manejo de solo e das culturas induzem alterações nas propriedades do solo, principalmente na estrutura, podendo ser estas alterações, permanentes ou temporárias. A intensidade com que as alterações ocorrem depende do tipo de solo e dos sistemas de manejo utilizados (CAMPOS et al., 1995). Segundo TISDALL e OADES (1982), o efeito mais nocivo é atribuído aos sistemas de manejo que adotam revolvimento intensivo do solo e propiciam menor adição de resíduos orgânicos.

A matéria orgânica é um dos principais agentes de formação e estabilização de agregados, e a diminuição de seu conteúdo no solo pelo cultivo é uma das maiores causas de deterioração da estrutura do solo (WENDLING et al., 2005). A melhoria da estrutura pode ser avaliada pelos altos índices de agregação (CASTRO FILHO, 2002) com a formação de macroagregados (> 250 μ m) estáveis que constitui um dos principais atributos do solo relacionados à sua qualidade.

Correlações positivas entre os teores de carbono orgânico e de estabilidade dos agregados em água, de vários tipos de solo, têm sido observadas em vários tipos de manejo do solo (WENDLING et al., 2005). No entanto, o grau de correlação entre o carbono orgânico e a agregação depende do clima, tipo de solo, textura e mineralogia. Em solos com mineralogia dominada por argilas 1:1 e

óxidos, a matéria orgânica passa a não ser o principal agente agregante (SIX et al., 2000).

O solo submetido ao cultivo tende a perder sua estrutura original, pelo fracionamento dos agregados maiores em unidades menores (CARPENEDO e MIELNICZUK, 1990). Desta forma sistemas agrícolas que adotam menores ou nenhum revolvimento de solo, juntamente com adição de resíduos, podem deter o declínio da qualidade da estrutura de solos cultivados, bem como promover a recuperação daqueles já degradados.

Segundo ELTZ et al. (1989), o plantio direto proporciona maior tamanho de agregados estáveis, quando comparado com o sistema convencional de preparo do solo, possivelmente devido à não-destruição mecânica dos agregados estáveis, quando comparado com o sistema convencional de preparo do solo e à proteção que a palha oferece à superfície do solo.

Em Latossolo Vermelho distrófico, OLIVEIRA et al. (2004) observaram no cerrado que a estabilidade de agregados foi reduzida pelo preparo convencional, enquanto o plantio direto recuperou parte da estabilidade perdida pelo preparo intensivo, possivelmente pelo maior teor de carbono orgânico.

CASTRO FILHO et al. (1998), avaliando índices de agregação para os sistemas de manejo, preparo convencional e plantio direto na camada 0-0,10m verificaram que o plantio direto aumentou 74% o diâmetro médio ponderado (DMP), 70% o diâmetro médio geométrico (DMG) e em 10,4% o índice de estabilidade de agregado (IEA) em relação ao preparo convencional. A maior agregação em semeadura direta foi relacionada ao maior acúmulo de matéria orgânica proporcionada por esse sistema em relação ao preparo convencional.

LACERDA et al. (2005) observaram que o DMP foi menor para o preparo convencional do solo em relação ao sistema plantio direto com 12 anos. CALEGARI et al. (2006) verificaram que o preparo convencional contribuiu para a diminuição dos teores de carbono orgânico do solo e menores valores de DMP, e menor percentagem de agregados > 2,00 mm (AGRI), enquanto maior agregação

e aumento do teor de carbono orgânico foram observados no sistema plantio direto.

Ocorreu maior pulverização do solo nos tratamentos de preparo mais intenso, onde o DMG dos agregados foi reduzido. O arado de disco, devido a menor eficiência de incorporação mantém maiores quantidades de resíduos na superfície, por isso apresentou maior quantidade de agregados > 2 mm, ao passo que o arado de aiveca realizando maior inversão da camada superficial, reduziu a cobertura do solo e conseqüentemente a percentagem de agregados nesta classe. GROHMANN e ARRUDA (1961).

2.3.3. Curva de retenção de água e Índice S

A curva de retenção de água do solo representa a relação entre o teor de água e energia com a qual a água está retida. A determinação pode ser efetuada com uso da câmara de pressão de Richards (RICHARDS, 1965) ou com uso de uma centrífuga (SILVA e AZEVEDO, 2002) e baseia-se no levantamento de certo número de pontos com os quais são utilizados para sua representação.

A curva de retenção de água tem sido utilizada como indicadora da qualidade física do solo em sistemas de manejo e é específica para cada solo e depende de vários atributos, sendo fundamental para estudos relacionados com balanço e disponibilidade de água às plantas, com a dinâmica da água, solutos no solo, infiltração e manejo de irrigação (ARRUDA et al., 1987).

Os dois processos básicos que explicam a retenção de água pelo solo são: a capilaridade que ocorre nos microporos, sendo mais importante na faixa mais úmida do solo e é mais influenciada pela estrutura do solo e a adsorção que ocorre nas superfícies dos sólidos como filme preso a ela, mais importante na faixa mais seca e são mais influenciadas pela textura e pela superfície específica do solo (REICHARDT, 1990).

O parâmetro para avaliação da qualidade física do solo é denominado índice S, e é definido como a declividade da curva característica de retenção da

água no solo em seu ponto de inflexão. Esta representa a distribuição do tamanho de poros de maior frequência e torna possível a comparação direta de diferentes solos e dos efeitos de diferentes práticas de manejo. Assim, “S” > 0,035 foi estabelecido, utilizando resultados experimentais, como favorável para o crescimento das raízes, e abaixo desse valor restritivo (DEXTER, 2004c).

2.4 Indicadores da qualidade química do solo

2.4.1. Teor de Fósforo

O fósforo (P) por ser um nutriente de baixa mobilidade, tem-se frequentemente constatado que, na semeadura direta, ocorre maior acúmulo desse elemento nos primeiros centímetros superficiais (BAYER e MIELNICZUK, 1997). Esta afirmativa está de acordo com ALMEIDA et al. (2005), que verificaram entre os sistemas de manejo, que as diferenças ocorreram apenas na camada superficial, onde os teores de P foram 10 vezes maiores na semeadura direta em relação ao preparo convencional.

Altas concentrações de P têm sido frequentemente observadas em sistemas de semeadura direta (ELTZ et al., 1989; BAYER e MIELNICZUK, 1997), fato atribuído à não incorporação dos adubos fosfatados, à pequena mobilidade desse nutriente e ao menor contato desses adubos com a fração mineral do solo, que reduzem os processos de adsorção (MUZILLI, 1983).

Apesar das altas concentrações desse nutriente em sistema de semeadura direta, sua disponibilidade para as plantas pode ser comprometida. De acordo com Eltz et al. (1989), o fósforo, por deficit hídrico na superfície do solo, pode tornar-se pouco disponível para o sistema radicular, restando à planta extraí-lo de profundidades maiores. Se houver deficiência de cálcio, porém, nas camadas mais profundas, a raiz terá dificuldade para crescer em profundidade, pois necessita desse elemento na sua zona de crescimento. Com isso, a planta pode sofrer estresse considerável por deficiência de água e outros nutrientes.

2.4.2. Teores de Potássio, Cálcio e Magnésio

A taxa de mineralização dos nutrientes contidos nos restos vegetais, deixados na superfície do solo no sistema de semeadura direta, de maneira geral, deveria ser semelhante à taxa de decomposição da matéria orgânica. Porém, para o potássio (K) é exceção, pois este nutriente é totalmente liberado no solo, mesmo sem haver decomposição completa do tecido vegetal. Ou seja, o K é um nutriente absorvido em quantidade relativamente alta pelas plantas e não é constituinte estrutural de moléculas e tecidos, o que o torna passível de ser extraído com relativa facilidade da cobertura morta, sem haver necessariamente, decomposição e mineralização biológica (ROSOLEM et al., 2006).

CENTURION et al. (1985) encontraram na semeadura direta os mais altos teores de K na camada superficial do que os encontrados no preparo convencional. Resultados semelhantes foram encontrados por ALMEIDA et al. (2005). Ambos os autores diferiram de FALLEIRO et al. (2003), que encontraram diminuição do K disponível na camada superficial do solo em semeadura direta, justificando que no momento da amostragem, não foi amostrada a palhada, pois nesse sistema o solo não é revolvido.

Entretanto, no processo de absorção desse nutriente, havendo competição entre Ca, Mg e K pelo mesmo sítio de troca, pode resultar no menor acúmulo de um desses elementos tendo como consequência menor produtividade de grãos de milho decorrente do menor desenvolvimento da planta (ANDREOTTI et al., 2001). Um exemplo dessa competição foi observado por MASCARENHAS et al. (2000), mostrando que quando a disponibilidade de Ca e Mg aumentam em relação à de K, devido à calagem, a absorção deste último pelas plantas é reduzida pela competição entre os três cátions.

Para melhor desenvolvimento de raízes e parte aérea das plantas em solos ácidos, recomenda-se a relação Ca: Mg de 3:1 (SILVA, 1980). Essa relação proporcionou maior teor de P nas plantas de milho, enquanto relações Ca: Mg

maiores que 3:1 causaram redução no crescimento e na produção das plantas em razão do efeito antagônico do Ca na absorção de Mg (HERNANDEZ e SILVEIRA, 1998).

2.4.3. pH e acidez potencial

O pH é a propriedade que apresenta menor variação quando comparado a outros atributos químicos no solo. O conhecimento da variabilidade dessa propriedade é importante, principalmente para definir o manejo mais adequado a ser utilizado (CHAVES et al., 2004).

ALMEIDA et al. (2005) observaram que após seis anos de cultivo continuado do solo, o pH não apresentou diferença significativa entre os tratamentos sob preparo convencional e semeadura direta. Entretanto, observaram ligeira tendência a um decréscimo do pH no sistema de semeadura direta nas camadas mais superficiais, esse fato teria sido atribuído a acidificação provocada pela decomposição de material orgânico deixado na superfície do solo nesse sistema, com provável liberação de ácidos orgânicos. Porém, de acordo com BISSANI et al. (2006), a acidificação do solo, nesse caso, não tem acentuada toxicidade do alumínio, como poderia ser esperado, devido à sua complexação pelas substâncias orgânicas formadas no processo de decomposição do material vegetal, diminuindo a atividade do alumínio na solução do solo.

Estas observações estão de acordo com os resultados encontrados por SANTOS et al. (2003), quando afirmaram que a acidificação do solo tende a reduzir a atividade microbiana para decomposição dos materiais orgânicos, liberação de nitrogênio mineral e absorção de N, que, por sua vez, limita o crescimento de plantas. Todavia, isso não foi verificado entre os sistemas de produção estudados em razão do acúmulo de material orgânico na superfície como efeito do plantio direto.

CANELAS et al. (2003) estudando propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar preservando o palhço e a vinhaça por

longo tempo, observaram que a acidez potencial (H+Al) foi dominada exclusivamente pelos íons H^+ , uma vez que não foi possível detectar o Al^{3+} . Essa acidez foi maior na camada superficial nas áreas com menor teor de carbono.

Estes resultados diferem de ALMEIDA et al. (2005), que no mesmo tipo de solo, em sistema de semeadura direta, encontrou na camada superficial teores mais elevados de acidez potencial, coincidindo com o maior teor de carbono orgânico, também verificado nessa camada. Desse modo, o carbono orgânico contribuiu para aumentar as fontes de acidez potencial do solo na camada superficial, reduzindo ligeiramente o pH, bem como para aumentar compostos orgânicos complexantes, diminuindo o Al^{3+} . Tais resultados, explicam nesse trabalho, em parte, os altos níveis de produtividade obtidos na semeadura direta.

2.4.4. Capacidade de troca de cátions e matéria orgânica

A capacidade de troca de cátions (CTC) é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas (CHAVES et al., 2004).

De acordo com CANELAS et al. (2003), nos solos de mineralogia 1:1, a matéria orgânica do solo comanda o desenvolvimento de cargas na superfície, sendo natural a maior capacidade de troca encontrada nas áreas de maior aporte de matéria orgânica. FALLEIRO et al. (2003) verificaram o aumento da CTC a pH 7 na semeadura direta e atribuíram esse fato ao aumento da matéria orgânica. Entretanto, o aumento da CTC efetiva foi influenciado pela matéria orgânica, pH e cátions trocáveis do solo.

A utilização de sistemas de manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais por cinco anos promoveu aumento nos teores de carbono orgânico total e na CTC do solo, com reflexos na maior retenção de cátions, indicando ser viável a recuperação de solos degradados por sistemas de manejo

em médio prazo. Essas modificações se restringiram às camadas superficiais (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

A adição de matéria orgânica na lavoura de cana-de-açúcar por um longo prazo, por meio da preservação da palhada na ocasião da colheita ou pela adição de vinhaça, alterou as propriedades químicas do solo e proporcionou melhoria na fertilidade do solo e na qualidade da matéria orgânica do solo com aumento do conteúdo de substâncias húmicas alcalino-solúveis mais condensadas (CANELLAS et al., 2003).

Resultados semelhantes foram encontrados por CARNEIRO et al. (2004) em que a adição de palhada, calcário e vinhaça corrigiram o pH e teve como consequência a diminuição do Al^{+3} livre, proporcionou também aumento da CTC e da disponibilidade de cátions básicos para a nutrição das plantas. Para esses autores, o solo estando em equilíbrio químico, favorece o restabelecimento microbiano, o que irá favorecer também a degradação da palhada, liberando assim constituintes orgânicos e inorgânicos que auxiliarão na manutenção desse equilíbrio, além de favorecer a estruturação do solo, condições necessárias para o bom desenvolvimento radicular e conseqüente desenvolvimento da planta.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Histórico da área experimental

O experimento foi instalado em 1988 e até o ano de 1997 teve com tratamentos principais três modalidades de preparo do solo no sistema convencional (arado de disco, arado de aiveca e grade pesada) e adubo orgânico utilizado como tratamento secundário. As culturas utilizadas para sucessão na época foram: milho, soja, aveia, sorgo e amendoim (AGOSTINI, 2001).

A partir do ano de 1998 até o ano 2010 com necessidade de adoção de sistemas conservacionistas em diversas regiões do Brasil, foi implantado o sistema plantio direto dentro de cada preparo convencional, mantendo-se ainda estes últimos, e deixando-se de usar o esterco como material orgânico.

3.2. Localização, solo e clima

O estudo foi realizado em área experimental na fazenda da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal (FCAV_UNESP), localizada ao norte do Estado de São Paulo (latitude 21° 25'S e longitude 48° 18'W), com altitude média de 550 metros em um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) típico textura argilosa A moderado caulínítico hipoférrico (ANDRIOLI e CENTURION, 1999). A composição granulométrica foi determinada nas camadas até 30 cm, em amostras deformadas por meio da dispersão com NaOH (0,1 mol L⁻¹) e agitação lenta, durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986). O LVd apresentou 299 g kg⁻¹ de argila, 44 g kg⁻¹ de silte e 396 g kg⁻¹ de areia fina e 261 g kg⁻¹ de areia grossa. Na camada avaliada o solo apresentou textura média.

O clima é classificado como Cwa, segundo a classificação Koppen, sendo denominado mesotérmico de inverno seco. A precipitação e temperatura média mensal referente aos anos de acompanhamento deste experimento encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de precipitação (mm) e temperatura média (°C) mensal nos anos de 2007, 2008, 2009 e 2010.

Mês/ano	Tmed	Precipitação	Tmed	Precipitação	Tmed	Precipitação	Tmed	Precipitação
	(°C)	(mm)	(°C)	(mm)	(°C)	(mm)	(°C)	(mm)
	2007		2008		2009		2010	
Janeiro	23,9	644,6	23,5	325,0	23,8	238,0	24,4	240,7
Fevereiro	24,4	154,7	23,9	302,7	24,7	190,6	25,3	150,7
Março	24,9	156,3	23,2	108,4	24,4	217,9	24,6	183,0
Abril	23,6	53,7	22,3	131,4	22,2	70,8	22,2	95,5
Mai	19,5	105,7	19,1	73,1	20,7	26,6	19,5	10,6
Junho	19,5	2,5	19,4	11,3	17,4	51,9	18,5	7,8
Julho	18,5	87,7	19,1	0,0	19,8	25,5		
Agosto	21,0	0,0	21,8	24,2	20,3	133,1		
Setembro	24,3	0,4	21,8	15,1	22,9	132,4		
Outubro	25,7	38,2	24,6	60,5	23,6	101,9		
Novembro	23,7	137,5	24,3	81,8	25,5	163,3		
Dezembro	24,8	204,4	23,9	278,9	24,1	383,7		
Média anual	22,8	1585,7	22,2	1412,4	22,4	1735,7		

Dados da estação metereológica da FCAV_UNESP, Tmed (temperatura média)

3.3. Delineamento experimental e operações de preparo

O delineamento utilizado foi em blocos casualizados com três repetições seguindo-se o esquema de parcelas subdivididas. Os tratamentos considerados principais constituem nove sistemas de manejo do solo (parcelas); a adubação de cobertura no milho com nitrogênio (120 kg ha⁻¹ N) e sem nitrogênio os tratamentos considerados secundários (subparcelas); as camadas (0-5; 5-10; 10-20 e 20-30 cm) como tratamentos ternários (sub-subparcelas).

Cada parcela ocupou uma área de 84 m², com 6 m de largura por 14 m de comprimento. As subparcelas ocuparam uma área de 42 m², com 6 m de largura por 7 m de comprimento, totalizando 27 parcelas e 54 subparcelas, numa área total de 2.268 m².

Os nove sistemas de manejo foram:

1. Preparo do solo com arado de aiveca (AI) + grade niveladora;
2. Plantio direto com feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) após o preparo com arado de aiveca - (D_AI_FP);
3. Plantio direto com lablab (*Dolichus lablab*) após o preparo com arado de aiveca (D_AI_LL);
4. Plantio direto com feijão de porco após o preparo com arado de disco (D_DS_FP);
5. Plantio direto com lablab após o preparo com arado de disco (D_DS_LL);
6. Plantio direto com feijão de porco após o preparo com grade pesada (D_GR_FP);
7. Plantio direto com lablab após o preparo com grade pesada (D_GR_LL);
8. Preparo do solo com arado de disco (DS) + grade niveladora;
9. Preparo do solo com grade pesada (GR) + grade niveladora.

As operações de preparo do solo que caracterizaram os sistemas convencionais foram realizadas com o solo em umidade próxima ao estado friável, após realizou-se medidas de profundidade. Foi realizada a primeira gradagem para nivelamento logo após o preparo primário, e a segunda antecedendo a semeadura. Segue-se a descrição dos implementos e a profundidade de trabalho:

- Arado de discos reversível 3 discos de 26 polegadas, profundidade de trabalho 20 cm.;
- Arado de aiveca reversível 2 aivecas recortadas, profundidade de trabalho 30 cm. ;
- Grade aradora 18 discos de 24 polegadas, massa 2.300 kg, profundidade de trabalho 13 cm. ;
- Grade niveladora 32 discos de 18 polegadas, massa 1.200 kg.

3.4. Condução do experimento

A área recebeu calagem no mês de setembro dos anos agrícolas 2007/2008 e 2008/2009 para elevar a saturação por bases a 70% de acordo com a análise química realizada para cada tratamento (Tabela 2). O calcário dolomítico foi aplicado a lanço e apresentava PRNT 90%. Nos sistemas convencionais foi aplicada a metade da dose e realizada a aração e em seguida aplicada a outra metade e realizada a gradagem. Nos sistemas plantio direto o calcário foi aplicado em superfície.

As plantas de cobertura utilizadas em pré-safra, apenas nas parcelas de plantio direto, foram o feijão de porco (*Canavalia ensiformes*) e lablab (*Dolichus lablab*). A semeadura do feijão de porco foi realizada manualmente e a do lablab foi realizada com semeadora de plantio direto provida de sulcador, ambas semeadas na primeira quinzena de outubro, no espaçamento 0,45 m entrelinhas com 8 e 10 sementes por metro, respectivamente. Na segunda quinzena de dezembro, no final do florescimento, estas foram dessecadas mediante aplicação de herbicida glifosate ($2,4 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de i.a.).

Na primeira quinzena de janeiro foi realizada a semeadura do milho (*Zea mays*) com semeadora-adubadora de precisão. Utilizou-se o híbrido Agromen 3150 (2007/2008 e 2008/2009) e a cultivar transgênica Impacto (2009/2010) no espaçamento 0,90 entrelinhas e cinco plantas por metro (55.000 plantas/ha). A adubação na semeadura foi de $400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ da fórmula N-P-K (8-20-20) e, em cobertura $120 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N na forma de uréia, aplicada a lanço 35 dias após a emergência das plantas. Nas subparcelas sem adubação de cobertura não foi aplicada a uréia.

Tabela 2. Análise química do solo no ano agrícola 2007/2008 na camada 0-20 cm.

Tratamentos	pH	C org	P	K	Ca	Mg	H + Al	SB	CTC	V
	CaCl ₂	g/m ³	mg/m ³	mmol/dm ³						%
AI	4,7	19	64	3,0	16	5	34	24,0	58,0	41
D_AI_FP	5,0	21	49	2,9	21	9	28	32,9	60,9	54
D_AI_LL	5,1	21	79	2,6	25	10	28	37,6	65,6	57
D_DS_FP	5,1	23	55	3,0	24	11	28	38,0	66,0	57
D_DS_LL	5,3	24	68	2,8	29	11	25	42,8	67,8	63
D_GR_FP	5,2	24	76	3,2	27	12	28	42,2	70,2	60
D_GR_LL	5,1	25	81	2,8	28	10	31	40,8	71,8	56
DS	4,6	18	51	2,4	13	4	34	19,4	53,4	36
GR	4,8	18	69	3,1	18	6	34	27,1	61,1	44

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

3.5. Avaliação do experimento

3.5.1. Análise da fertilidade do solo

No ano agrícola 2008/2009, na época do florescimento do milho, foram coletadas amostras do solo com trado tipo holandês, nas profundidades 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para análise granulométrica e de fertilidade, num total de 10 amostras simples para formar uma amostra composta proveniente de cada parcela nas entrelinhas da cultura do milho.

As amostras foram secas ao ar e passadas em peneiras com malhas de 2,0 mm. Nas amostras foram determinados pH (CaCl₂ 0,01M), teores de P (resina), K, Ca, Mg e H+Al, conforme método proposto por RAIJ et al. (2001). O carbono orgânico (C orgânico) foi determinado pelo método Walkley-Black, descrito por TEDESCO et al. (1995). Foram calculadas a capacidade de troca catiônica, soma de bases (SB) e saturação por bases (V%) do solo.

3.5.2. Determinação dos índices de agregação e C orgânico

Os índices de agregação avaliados foram: o diâmetro médio ponderado (DMP), o diâmetro médio geométrico (DMG), os agregados maiores que 2 mm (AGRI), o índice de estabilidade de agregados (IEA) e o grau de flocculação da argila (GF). Estes índices foram avaliados nas camadas 0-5 e 5-10 cm e relacionados com o teor de carbono orgânico do solo (C orgânico).

As coletas de amostras de solo foram realizadas nas entrelinhas da cultura do milho, na época do florescimento, em 3 repetições por parcelas, com auxílio de um enxadão, sem destruição dos torrões que foram acondicionados em sacos plásticos e posteriormente, secadas ao ar. No preparo das amostras, os torrões foram desmanchados manualmente, tomando-se o cuidado para não destruir os agregados.

Para avaliar a estabilidade de agregados via úmida foram usados 50 g de solo que passou pela peneira de 7,93 mm diâmetro de malha e ficou retido na peneira de 4,00 mm, os quais foram pré-umedecidos, conforme o princípio de umedecimento lento descrito por KEMPER e CHEPIL (1965). Em seguida essa amostra foi colocada no aparelho de oscilação vertical sobre um conjunto de peneiras de 4,00; 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; e 0,125 mm de diâmetro de malha, conforme descrito por YOODER (1936). Transcorridos 15 min, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio com auxílio de jatos de água e secas em estufa a 105°C por período de 24 h para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas foram calculados a porcentagem de agregados > 2,00 mm estáveis em água, o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado (DMP), conforme KEMPER e CHEPIL (1965). Sendo o $DMP = \sum (w_i \cdot x_i)$, $DMG = [\sum (w_i \cdot \ln(x_i)) / \sum w_i]$ e o $AGRI = \sum w_i > 2mm \cdot 100$, em que w_i massa de agregados da classe i , x_i diâmetro médio da classe i e $\sum w_i$ massa total de agregados.

A determinação do índice de estabilidade de agregados (IEA) foi realizada conforme o método descrito por KEMPER e ROSENAU (1986). Foram usados 4,0 g dos agregados retidos na peneira de 4 mm e passados para a peneira de 0,25

mm. Essa peneira foi levada para oscilação vertical em água no mesmo aparelho utilizado no método descrito anteriormente, porém, ajustado para 35 ciclos min^{-1} , com amplitude de oscilação de 1,3 cm, durante 3 min.

Após a análise, os agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm foram transferidos para latas de alumínio, as quais foram levadas à estufa a 105 °C por 24 horas. Também foi realizada a correção do teor de água e de areia > 0,25 mm.

Com os dados de massa de agregados retidos na peneira com aberturas de 0,25 mm e a massa de areia > 0,25 mm, calculou-se o índice de estabilidade de agregados, em porcentagem, como descrito por KEMPER e CHEPIL (1965), pela seguinte equação:

$$\text{IEA} = 100x \frac{(\text{massa de agregados} > 0,25 \text{ mm}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}{(\text{massa da amostra seca}) - (\text{massa de areia} > 0,25 \text{ mm})}$$

O grau de flocculação da argila ((GF= argila total – argila dispersa)/argila total), em porcentagem, foi obtido pelo método da pipeta (GEE e BAUDER, 1986), excluindo o dispersante NaOH, com uso das mesmas amostras coletadas para fins da fertilidade do solo.

3.5.3. Determinação da retenção de água no solo e do Índice S

As amostras com estrutura indeformada foram coletadas em quatro pontos aleatórios em cada sistema de manejo, utilizando-se cilindros de $52,35 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, no centro das camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, na época do florescimento do milho. Estas amostras foram saturadas durante 24 h e pesadas. Em seguida foram submetidas às tensões de 0,001; 0,003; 0,006; 0,01; 0,033; 0,06; 0,1 e 0,3 MPa em câmaras de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), e determinado o conteúdo de água retida em cada tensão.

Após pesagem na última tensão, as amostras foram secas em estufa a 105° C até atingir peso constante, o qual foi utilizado nos cálculos de densidade do solo

e da umidade nos diferentes pontos da curva característica. As curvas de retenção de água foram ajustadas pelo modelo proposto por VAN GENUCHTEN (1980):

$$U_g = (U_{g_{sat}} - U_{g_{res}}) / [1 + (\alpha h)^n]^m + U_{g_{res}}$$

Onde n e m são parâmetros que governam o formato da curva, e $U_{g_{sat}}$ e $U_{g_{res}}$ são umidade na saturação e residual, respectivamente.

A análise das curvas de retenção de água indica que a degradação física do solo sempre conduz a uma mudança no formato das curvas. Uma pequena inclinação indica um solo desestruturado e, portanto uma elevada inclinação, um solo estruturado e que possui poros (DEXTER, 2004a).

No cálculo do índice S foi utilizado os parâmetros de ajuste das curvas de retenção de água de acordo com o modelo proposto por VAN GENUCHTEN (1980):

$$S = -n(U_{sat} - U_{res}) * \left(1 + \frac{1}{m}\right)^{-(1+m)}$$

Onde n e m são parâmetros que governam o formato da curva; U_{sat} e U_{res} são a umidade na saturação residual, respectivamente.

3.5.4. Determinação da densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade do solo

Para determinação dessas propriedades físicas foram coletadas amostras com estrutura indeformada em quatro pontos aleatórios em cada sistema de manejo utilizando-se cilindros de $52,35 \times 10^{-6} \text{ m}^3$, no centro das camadas de 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm, na época do florescimento do milho. A densidade foi determinada segundo BLAKE e HARTGE (1986), A microporosidade foi obtida no conteúdo de água retido na tensão de 0,006 MPa (poros < 50 μm) em câmara de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986). A porosidade total foi obtida segundo metodologia descrita por DANIELSON e SUTHERLAND (1986) e a

macroporosidade (poros > 50 μm) pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

3.5.5. Avaliação da produtividade do milho

A produtividade de grãos de milho foi avaliada na safra 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010 no final do ciclo da cultura, nas quatro linhas centrais de cada parcela, numa área útil de 32 m², deixando duas linhas em cada lateral para bordadura. A umidade dos grãos foi padronizada para 13%.

3.5.6. Análise estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando o teste F foi significativo aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias. Efetuou-se a análise de regressão entre os índices de agregação (GF, DMP, DMG, IEA e AGRI) com os teores de carbono orgânico do solo através do programa excel. Realizou-se a correlação de Pearson com o índice S e os atributos do solo: C orgânico, porosidade total, macroporosidade, microporosidade e produtividade do milho na safra 2008/2009. As análises estatísticas foram processadas por meio do programa AgroEstat (BARBOSA e MALDONADO, 2010).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Porosidade total, macroporosidade, microporosidade e densidade do solo

Não houve diferença significativa entre os sistemas de manejo em relação à densidade do solo e ao sistema poroso. A densidade do solo variou de 1,49 a 1,53 Mg m^{-3} (Tabela 3). Esses valores estão abaixo do limite crítico de 1,70 a 1,75 Mg m^{-3} , que seria restritivo ao desenvolvimento radicular em solo dessa classe textural (ARSHAD et al., 1996) e inferior ao valor de 1,55 Mg m^{-3} considerado limitante para culturas anuais em solos com 200 a 550 g kg^{-1} de argila, no sul do Brasil (REICHERT et al., 2003). O tempo de utilização dos sistemas de manejo é uma variável importante a ser considerada e ressalta a importância dos experimentos de longa duração na avaliação do efeito do manejo sobre a qualidade do solo.

A porosidade total variou de 0,355 a 0,375 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. A microporosidade variou de 0,260 a 0,268 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$. A macroporosidade apresentou, na maioria dos sistemas avaliados, valores de 0,10 $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$, que constitui a necessidade mínima de porosidade de aeração para o crescimento radicular da maioria das culturas (BAVER et al., 1972).

Não houve diferença estatística significativa para a adubação de cobertura nitrogenada em relação à densidade do solo e ao sistema poroso. O menor valor de densidade do solo (1,36 Mg m^{-3}) ocorreu na camada 0-5 cm. Campos et al. (1995) relatam a importância do uso de plantas de cobertura na diminuição da densidade do solo devido a melhoria na estrutura, e a alternância no tipo e tamanho de raízes e aporte de material orgânico.

As interações entre sistemas de manejo e camadas foram significativas apenas para microporosidade (Tabela 3).

Tabela 3. Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade em função de sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Causas de Variação	Densidade do solo	Porosidade total	Macroporosidade	Microporosidade
	---Mg m ⁻³ ---	-----m ³ m ⁻³ -----		
Sistema de Manejo (A)				
AI	1,51	0,364	0,095	0,268
D_AI_FP	1,50	0,363	0,102	0,261
D_AI_LL	1,52	0,366	0,097	0,266
D_DS_FP	1,51	0,363	0,102	0,260
D_DS_LL	1,53	0,355	0,090	0,266
D_GR_FP	1,53	0,355	0,091	0,262
D_GR_LL	1,49	0,369	0,105	0,262
DS	1,52	0,375	0,109	0,265
GR	1,49	0,371	0,109	0,261
Teste F (A)	0,22 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,35 ^{ns}
C.V. (%)	9,9	11,7	5,6	8,5
Adubação Cobertura (B)				
Com N (120 Kg ha ⁻¹)	1,51	0,363	0,101	0,265
Sem N	1,51	0,366	0,099	0,262
Teste F (B)	0,24 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,18 ^{ns}	2,00 ^{ns}
C.V. (%)	4,0	6,8	27,1	6,4
Camada (C)				
0 – 5 cm	1,36c	0,374a	0,109 a	0,264ab
5 – 10 cm	1,54b	0,366ab	0,107ab	0,258b
10 – 20 cm	1,58a	0,356b	0,093bc	0,263ab
20 – 30 cm	1,56ab	0,362ab	0,092c	0,269a
Teste F (C)	121,88**	4,50**	5,36**	4,64**
DMS (Tukey)	0,030	0,012	0,014	0,007
C.V. (%)	4,4	7,0	28,0	6,0
Interação				
A X B	1,43 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,53 ^{ns}
A X C	1,08 ^{ns}	1,43 ^{ns}	1,01 ^{ns}	1,65 [*]
B X C	0,62 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,04 ^{ns}
A X B X C	0,71 ^{ns}	1,09 ^{ns}	1,05 ^{ns}	0,69 ^{ns}
Média Geral	1,51	0,36	0,10	0,26

Valores com letras iguais minúscula na coluna não diferem pelo teste Tukey (P < 0,05). ns: não significativo, * : significativo a 5% e **: significativos a 1% de probabilidade

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada não apresentou diferenças significativas em todos os tratamentos. Na interação entre as camadas dentro de cada sistema, o tratamento DS diferiu na camada 0-5 cm ($0,253 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) para a camada 10-20 cm ($0,280 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$). A mobilização nesse tratamento ocorreu até a profundidade de 13 cm e pode ter influenciado a diferença nesses valores de microporosidade (Tabela 4).

Tabela 4. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de microporosidade.

Sistemas de Manejo	Microporosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)			
	Camada (cm)			
	0 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30
AI	0,253A	0,270A	0,273A	0,276A
D_AI_FP	0,265AB	0,248B	0,260AB	0,273A
D_AI_LL	0,275A	0,258A	0,260A	0,273A
D_DS_FP	0,268A	0,253A	0,255A	0,266A
D_DS_LL	0,280A	0,258A	0,261A	0,265A
D_GR_FP	0,266A	0,256A	0,255A	0,273A
D_GR_LL	0,265A	0,251A	0,265A	0,270A
DS	0,253B	0,266AB	0,280A	0,261AB
GR	0,253A	0,263A	0,260A	0,268A

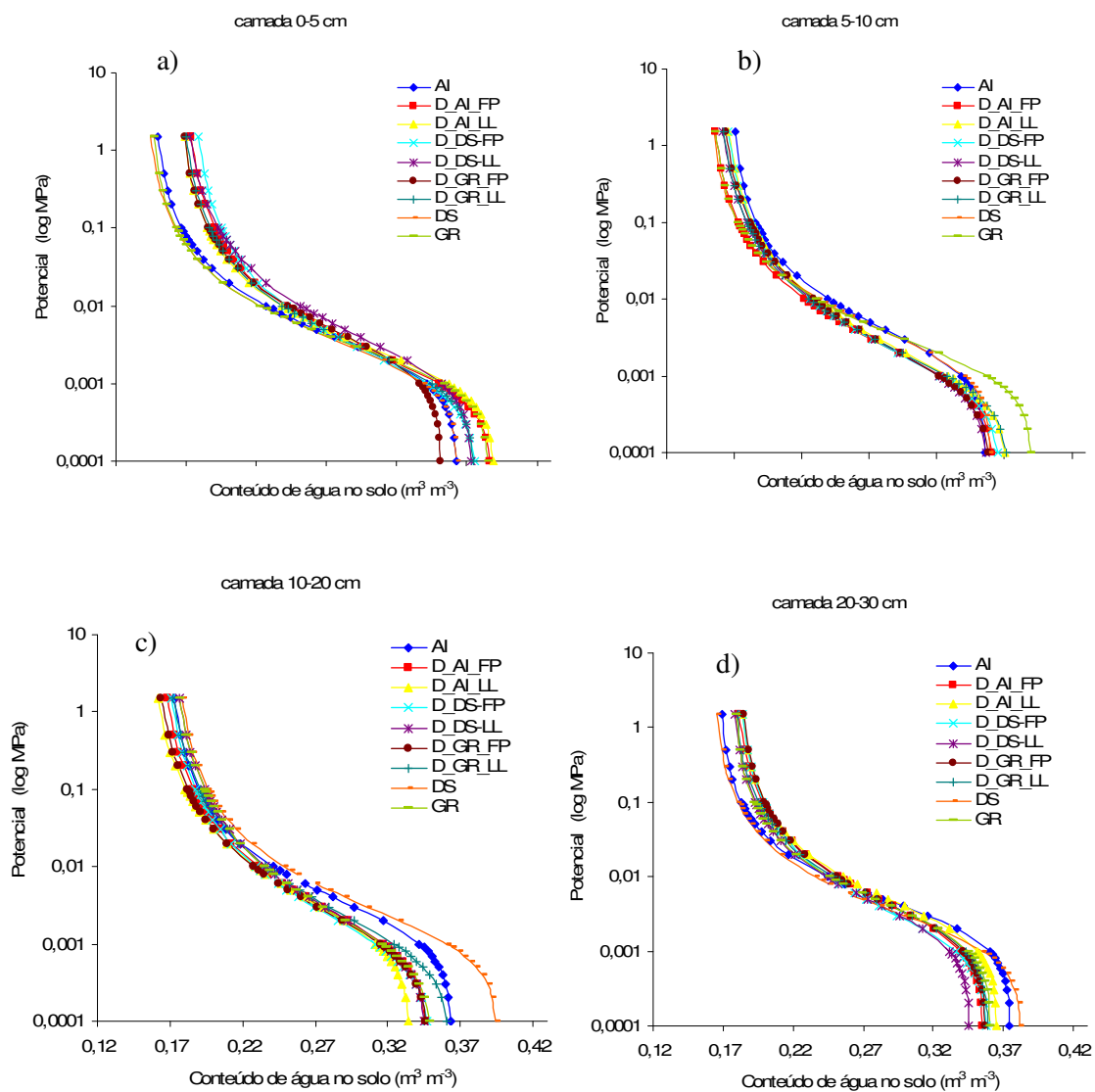
Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey ($P < 0,05$).

Letras maiúsculas na linha comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo, letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada

4.2 Curvas de retenção de água no solo e Índice S

Na figura 1 são apresentadas as curvas de retenção de água nos sistemas de manejo para cada camada, ajustadas segundo o modelo matemático VAN GENUCHTEN (1980).



AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

Figura 1. Curvas de retenção de água nas camadas a) 0 - 5 b) 5-10, c) 10-20 e d) 20-30 cm em função dos sistemas de manejo.

A partir da tensão 0,01 MPa as diferenças são percebidas principalmente na camada 0-5 cm (Figura 1 a), onde DS e GR e AI apresentaram menor retenção de água em relação aos sistemas direto.

A água retida a tensões acima de 0,01 MPa é de grande interesse para o estudo de sua disponibilidade para as plantas. CARVALHO et al. (1999) observaram em diferentes sistemas de preparo que a maior retenção de água ocorreu no plantio direto devido à manutenção da matéria orgânica. Neste estudo a influência da matéria orgânica foi mais evidenciada na camada superficial. Nas tensões mais baixas a ação indireta da matéria orgânica se sobressai devido à retenção nessas tensões dependerem principalmente do efeito da capilaridade e distribuição do tamanho dos poros, ou seja, da estrutura do solo. Nas tensões mais elevadas, a água é retida, sobretudo, por fenômenos de adsorção do solo, influenciada pela textura e superfície específica do solo (DEXTER, 2004 a).

Os sistemas convencionais, onde ocorreu a mobilização do solo, apresentaram menor retenção nas menores tensões nas camadas 5-10,10-20 e 20-30 cm (Figura 1).

Os valores do índice S (Tabela 5) variaram de 0,045 a 0,059, não diferindo entre os sistemas de manejo, a exceção do DS (0,059) que foi maior que o D_GR_FP (0,045).

O índice S em todos os sistemas de manejo ficou acima do valor definido como limite por DEXTER (2004a), no qual valores situados acima de 0,035 indicam boas condições para o desenvolvimento agrícola. ANDRADE e STONE (2009) em estudo nos solos do cerrado sugeriram o valor do índice S de 0,045, como o menor valor que se enquadrou dentro dos limites de todas as classes texturais estudadas, sendo superior ao índice proposto por DEXTER (2004a).

Tabela 5. Valores médios dos parâmetros m, n, θ_{res} , θ_{sat} e do índice S para os sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Causas de Variação	Parâmetros do índice S				Índice S
	m	n	θ_{res}	θ_{sat}	
Sistemas de Manejo (A)					
D_AI_FP	0,333	1,500	0,164	0,364	0,056 ab
D_AI_LL	0,344	1,527	0,165	0,366	0,048 ab
D_DS_FP	0,327	1,487	0,169	0,363	0,049 ab
D_DS_LL	0,333	1,503	0,166	0,356	0,046 ab
D_GR_FP	0,338	1,514	0,164	0,355	0,045 b
D_GR_LL	0,338	1,512	0,165	0,368	0,046 ab
AI	0,381	1,616	0,162	0,365	0,049 ab
DS	0,364	1,573	0,156	0,376	0,059 a
GR	0,359	1,565	0,160	0,372	0,056 ab
Teste F (A)					3,61*
DMS (Tukey)					0,014
C.V. (%)					26,29
Adubação de Cobertura (B)					
Com N (120 Kg ha ⁻¹)					0,049 a
Sem N					0,051 a
Teste F (B)					4,31 ^{ns}
DMS (Tukey)					0,02
C.V. (%)					15,83
Camada (C)					
0-5 cm					0,057 a
5-10 cm					0,051 b
10-20 cm					0,043 c
20-30 cm					0,051 b
Teste F (C)					21,24**
DMS (Tukey)					0,04
C.V. (%)					17,28
Interação					
A X B					0,88 ^{ns}
A X C					1,31 ^{ns}
B X C					0,41 ^{ns}
A X B X C					0,65 ^{ns}
Média Geral					0,051

Valores com letras iguais minúscula na coluna não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,01$). m, n – parâmetros que regulam o formato da curva de retenção e θ_{res} - umidade residual, θ_{sat} - umidade de saturação.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

Dessa forma todos os tratamentos avaliados apresentaram boa estrutura indicando menor restrição física para o desenvolvimento radicular.

Em perfil heterogêneo em relação à textura a importância da matéria orgânica na retenção de água pelo solo é menos evidente. Neste estudo, apesar do solo apresentar textura argilosa, a avaliação até a profundidade de 30 cm se enquadrou em textura média, com acréscimos de 119 % nos teores de areia em relação aos teores de argila, com predomínio de areia fina. É possível que a porosidade microestrutural esteja respondendo por essa maior qualidade estrutural. De acordo com DEXTER (2004a), a presença de poros estruturais e um correspondente alto valor de S são essenciais para uma boa qualidade do solo.

A tabela 6 mostra que houve correlação positiva e significativa entre o índice S e o teor de C orgânico, a porosidade total, a macroporosidade e a produtividade do milho A densidade do solo apresentou correlações negativas e altamente significativas com o índice S e a microporosidade, por sua vez, apresentou correlação negativa e não significativa com o índice S. Os resultados de porosidade total, macroporosidade e densidade estão de acordo com ANDRADE e STONE (2009).

Tabela 6. Correlação de Pearson entre o índice S e o teor de carbono orgânico (C orgânico), densidade do solo (Ds), porosidade total (Pt), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi) e produtividade do milho 2008/2009 (Prod 08/09).

Indicadores	Índice S	C orgânico	Ds	Pt	Ma	Mi	Prod 08/09
Índice S	1	-	-	-	-	-	-
C orgânico	0,149 [*]	1	-	-	-	-	-
Ds	-0,637 ^{**}	-0,551 ^{**}	1	-	-	-	-
PT	0,750 ^{**}	0,272 ^{**}	-0,564 ^{**}	1	-	-	-
Ma	0,713 ^{**}	0,206 ^{**}	-0,637 ^{**}	0,841 ^{**}	1	-	-
Mi	-0,103 ^{ns}	0,048 ^{ns}	0,274 ^{**}	0,055 ^{ns}	-0,475 ^{**}	1	-
Prod 08/09	0,294 [*]	-	-	-	-	-	1

Na linha ns: não significativo, * : significativo a 5% e **: significativos a 1% de probabilidade .

BEUTLER et al. (2008) também encontraram altos valores para o parâmetro S que variou de 0,056 a 0,062, porém, consideraram como limitante para a

produtividade do milho. Neste estudo observou-se que a correlação foi baixa para a produtividade do milho. Correlações negativas ocorreram entre a porosidade total do solo e a densidade do solo e positiva entre a macroporosidade com o teor de C orgânico.

DEXTER (2004a) também observou correlação negativa do índice S em função da densidade e positiva em função da matéria orgânica, e associou esses resultados com a degradação física do solo.

4.3. Índices de agregação e C orgânico nas camadas 0-5 e 5-10 cm

A Tabela 7 mostra os valores médios e a significância nos sistemas de manejo, adubação de cobertura e nas camadas 0-5 e 5-10 cm.

O teor de C orgânico foi maior na maioria dos sistemas plantio direto em relação aos sistemas convencionais na camada superficial. Resultados semelhantes foram encontrados por CAMPOS et al. (1995) que verificaram maior teor de C orgânico no sistema plantio direto comparado ao sistema convencional.

O DS apresentou o menor valor de C orgânico ($14,92 \text{ g kg}^{-1}$) em relação a todos os sistemas plantio direto que inclui a leguminosa lablab, porém não diferiu do AI ($15,08 \text{ g kg}^{-1}$) e da GR ($18,75 \text{ g kg}^{-1}$). O comportamento similar entre os sistemas convencionais pode ser devido à ausência de leguminosas, embora estes estejam influenciados pelos restos de culturas anuais que tem sido incorporados ao solo pela longa duração deste experimento (Tabela 7).

Tabela 7. Teor carbono orgânico (C orgânico), grau de floculação (GF), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados > 2 mm (AGRI) nos sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5 e 5-10 cm.

Causas de Variação	C	GF	DMP	DMG	IEA	AGRI
	orgânico --g kg ⁻¹ --	-----%-----	-----mm-----	-----mm-----	-----%-----	-----%-----
Sistemas de Manejo (A)						
D_AI_FP	20,08 ab	49,95 abc	4,15 a	2,97 ab	64,83 a	69,63 ab
D_AI_LL	23,17 a	54,77 ab	3,46 ab	2,45 ab	64,17 a	57,57 ab
D_DS_FP	19,92 ab	47,91 abc	4,37a	3,32 a	67,92 a	73,91 a
D_DS_LL	22,00 a	51,68 abc	4,02 ab	2,89 ab	62,92 a	67,55 ab
D_GR_FP	22,00 a	53,40 abc	4,23 a	3,08 a	70,17 a	71,60 a
D_GR_LL	22,00 a	54,99 a	3,91 ab	2,90 ab	65,67 a	66,37 ab
AI	15,08 b	48,58 abc	2,64 bc	1,66 bc	45,08 b	43,17 bc
DS	14,92 b	46,56 bc	1,70 c	0,91 bc	44,58 b	25,32 c
GR	18,75 ab	45,49 c	3,34 ab	2,14 abc	56,50 ab	56,31 ab
Teste F (A)	7,44**	4,51**	8,81**	9,10**	11,49**	8,77**
DMS (Tukey)	5,58	8,34	1,48	1,31	14,07	26,96
C.V. (%)	19,42	11,41	28,97	36,80	16,10	31,44
Adubação de Cobertura (B)						
Com N (120 Kg ha ⁻¹)	20,04	50,11	3,45	2,36	60,33	57,82
Sem N	19,50	50,63	3,62	2,56	60,07	60,28
Teste F (B)	1,56 ^{ns}	0,37 ^{ns}	1,44 ^{ns}	2,27 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,13 ^{ns}
DMS (Tukey)	0,90	1,77	0,29	0,28	3,03	4,87
C.V. (%)	11,31	8,69	20,08	28,21	12,46	20,38
Camada (C)						
0-5 cm	22,52 a	55,15 a	3,96 a	2,93 a	62,07 a	66,27 a
5-10 cm	17,02 b	45,59 b	3,11 b	1,98 b	58,33 b	51,82 b
Teste F (C)	135,92**	96,87**	71,00**	92,81**	12,39**	70,58 **
DMS (Tukey)	0,96	1,97	0,20	0,20	2,15	3,49
C.V. (%)	12,40	10,02	14,78	20,88	9,17	15,13
Interação						
A X B	0,42 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,84 ^{ns}	0,92 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,88 ^{ns}
A X C	12,39**	3,13**	10,46**	12,33**	3,98**	11,03**
B X C	0,19 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,49 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}
A X B X C	0,26 ^{ns}	1,35 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Média Geral	19,76	50,37	3,54	2,46	60,20	59,04

Valores com letras iguais minúscula na coluna não diferem pelo teste Tukey (P < 0,05).

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

Na conversão do convencional ao direto verificou-se melhoria significativa no teor de C orgânico nos sistemas D_AI_LL (53,6%) e D_DS_LL (47,4%) em relação ao AI e ao DS (Tabela 7). Observou-se por esses resultados uma possível interferência das leguminosas lablab e feijão de porco nos sistemas plantio direto. De acordo com REIDE e GOSS (1982), a diferença entre espécies pode estar na qualidade do material orgânico sintetizado pelas raízes das diversas culturas ou na configuração das raízes, especialmente na proporção das raízes laterais, uma vez que a matéria orgânica ocorre segundo o tipo de raiz.

A Tabela 8 apresenta a interação entre os sistemas de manejo e camadas para o C orgânico e todos os índices de agregação do solo avaliados.

Tabela 8. Interação entre os sistemas de manejo e camadas 0 - 5 e 5 - 10 cm para os valores de carbono orgânico (C orgânico), grau de floculação (GF), diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e porcentagem de agregados > 2 mm (AGRI).

Sistemas de Manejo	C orgânico	GF	DMP	DMG	IEA	AGRI > 2,00 mm
	----g kg ⁻¹ ----	-----%-----	-----mm-----		-----%-----	
Camada 0 - 5 cm						
D_AI_FP	24,17 Aabc	54,32 Aabc	4,91 Aa	3,77 Aab	69,50 Aab	82,74 Aa
D_AI_LL	29,33 Aa	63,60 Aa	4,02 Aab	2,71 Abc	68,17 Aab	67,33 Aab
D_DS_FP	22,67 Abc	52,17 Abc	5,12 Aa	4,23 Aa	74,50 Aa	86,50 Aa
D_DS_LL	26,50 Aab	60,48 Aab	4,86 Aa	3,85 Aab	67,00 Aab	82,00 Aa
D_GR_FP	26,33 Aab	57,34 Aabc	4,58 Aab	3,49 Aab	69,67 Aab	77,47 Aab
D_GR_LL	26,00 Aab	59,77 Aab	4,98 Aa	4,06 Aab	68,17 Aab	85,06 Aa
AI	14,67 Ad	53,00 Abc	2,35 Ac	1,43 Acd	44,50 Ac	38,00 Acd
DS	14,50 Ad	47,40 Ac	1,63 Ac	0,86 Ad	42,83 Ac	24,27 Ad
GR	18,50 Acd	48,29 Ac	3,19 Abc	2,00 Acd	54,33 Abc	53,07 Abc
Camada 5 - 10 cm						
D_AI_FP	16,00 Ba	45,59 Ba	3,89 Ba	2,17 Bab	60,17 Bab	56,52 Ba
D_AI_LL	17,00 Ba	45,94 Ba	2,90 Bab	1,78 Bab	60,17 Bab	47,80 Bab
D_DS_FP	17,17 Ba	43,64 Ba	3,63 Ba	2,40 Ba	61,33 Bab	61,33 Ba
D_DS_LL	17,50 Ba	42,88 Ba	3,18 Bab	1,94 Bab	58,83 Bab	53,10 Bab
D_GR_FP	17,67 Ba	49,46 Ba	3,89 Ba	2,68 Ba	70,67 Aa	65,73 Ba
D_GR_LL	18,00 Ba	50,22 Ba	2,84 Bab	1,74 Bab	63,17 Aa	47,67 Bab
AI	15,50 Aa	44,16 Ba	2,93 Aab	1,89 Aab	45,67 Abc	48,33 Aab
DS	15,33 Aa	45,72 Aa	1,77 Ab	0,96 Ab	46,33 Abc	26,38 Ab
GR	19,00 Aa	42,69 Aa	3,49 Aa	2,28 Aab	58,67 Aabc	59,55 Aa

Valores seguidos da mesma letra não diferem significativamente pelo teste Tukey (P < 0,05). Letras maiúsculas na coluna comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo, letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada

Na interação (Tabela 8) entre os sistemas de manejo e camadas visualiza-se a formação dos dois grupos, o dos sistemas convencionais não diferindo de uma camada para outra e o grupo dos sistemas plantio direto que diferiram e apresentaram os maiores valores de C orgânico na camada 0-5 cm em relação à camada 5-10 cm.

Avaliando as diferenças entre os sistemas (Tabela 8) na camada 0-5 cm, verifica-se que os sistemas plantio direto apresentaram os maiores valores de C orgânico em relação aos convencionais. FLORES et al. (2008) encontraram teor médio de matéria orgânica em torno 17 g kg^{-1} após cinco anos de implantação do experimento sob plantio direto e esse acúmulo ocorreu na camada de 0-5 cm, visto que o revolvimento e conseqüente incorporação ao solo dos resíduos ocorrem apenas na linha de semeadura. Porém, em situações em que o solo apresente elevados teores de argila, esse aumento pode não ocorrer, conferindo ao carbono orgânico proteção coloidal maior e dificultando a degradação do material orgânico (WENDLING et al., 2005).

Na conversão (Tabela 8) do convencional ao direto observa-se um aumento significativo no teor de C orgânico nos sistemas D_AI_FP (64,7%), D_AI_LL (99,9%), D_DS_FP (56,3%), D_DS_LL (82,7%), D_GR_FP (42,3%), D_GR_LL (40,5%) em relação aos seus respectivos convencionais AI, GR e DS. O aumento da matéria orgânica nesses sistemas é um processo dinâmico, sendo necessário o acréscimo contínuo de material orgânico para manter a estrutura adequada ao desenvolvimento das plantas. Sistemas de manejo do solo e de cultura, adequadamente conduzidos, proporcionam o aporte de material orgânico por meio de resíduos vegetais, além da ação benéfica das raízes das plantas e proteção oferecida à superfície do solo (CAMPOS et al., 1995).

Os sistemas que sucederam a GR mostraram os menores acréscimos de C orgânico. De acordo com SILVEIRA (1989) esse implemento é preferido pelos agricultores quando comparados aos arados, devido maior largura útil de ação e velocidade de deslocamento, porém possui pequena capacidade de penetração dificultando a incorporação de resíduos, além de promover maior desagregação

do solo, porém esse efeito pode ter ocorrido apenas na superfície 0-5 cm , pois na camada 5-10 cm não houve diferença entre os sistemas avaliados (Tabela 8).

4.3.1. Grau de flocculação da argila

Na Tabela 7 o grau de flocculação da argila não diferiu entre os sistemas convencionais e nem entre os sistemas plantio direto. Na conversão do convencional ao direto, a única exceção ocorreu no D_GR_LL que foi 20,8% superior em relação a GR.

SILVA et al. (2000), investigando sistemas de manejo com sucessão trigo-soja em Latossolo Roxo, encontraram maior índice de flocculação para sistema plantio direto comparado ao cultivo convencional com arado de disco. Por outro lado ALBUQUERQUE et al. (2005) verificaram que as plantas de cobertura de verão no sistema de preparo reduzido aumentaram o teor de C orgânico, entretanto, não modificaram o grau de flocculação de argila quando comparadas às do sistema milho isolado.

Segundo MARTINS e JUNIOR ROSA (2005) o grau de flocculação é uma propriedade física que permite inferências muito boas sobre a condição de agregação do solo, estando intimamente relacionado com a matéria orgânica, ou seja, à medida que essa diminui, o grau de flocculação decresce. Portanto, as fontes de matéria orgânica teriam importância no processo de agregação.

Na interação entre os sistemas de manejo e camadas, o grau de flocculação diferiu de uma camada para outra, sendo maior na camada 0-5 cm em todos os sistemas, a exceção ocorreu no DS (47,40%) e na GR (48,29%) que não diferiram de uma camada para outra (Tabela 8).

Avaliando as diferenças entre os sistemas na camada 0-5 cm verificou-se que os sistemas convencionais não diferiram entre si e apresentaram valores de grau de flocculação mais baixos em relação à maioria dos sistemas plantio direto que também não diferiram entre si. CARVALHO JR. et al. (1998) verificaram que o sistema de semeadura direta com rotação milho e feijão proporcionou os menores

valores de argila dispersa em água e, conseqüentemente, os maiores valores de índice de floculação na camada 0-5 cm.

Na conversão os acréscimos no grau de floculação foram nos sistemas D_AI_FP (2,4%), D_DS_LL (27,5%) e D_GR_LL (23,7%) em relação aos seus respectivos convencionais AI, GR e DS. Na camada 5-10 cm não houve diferença significativa entre os sistemas avaliados (Tabela 8).

4.3.2. Diâmetro médio ponderado

Na Tabela 7 observa-se que o coeficiente de variação para o DMP foi alto (28,97%). O menor DMP ocorreu para o DS (1,70 mm) em relação aos demais sistemas de manejo, porém não diferiu estatisticamente do AI (2,64 mm). De acordo com FLORES et al. (2008), a mobilização do solo durante a operação agrícola quebra os agregados e estimula a decomposição da matéria orgânica pelos microorganismos, processo que reduz a quantidade de substâncias agregantes e, assim a estabilidade de agregados. Foram mais evidentes os efeitos negativos com uso de arado de aiveca quando comparado ao disco. Neste estudo o DS e AI não diferiram entre si, provavelmente pelo alto valor do coeficiente de variação.

Na conversão para o plantio direto verificou-se acréscimos do DMP no D_AI_FP (57,1%), no D_DS_FP (157,0%) e no D_DS_LL (136,4%) em relação aos respectivos convencionais AI e DS. Esses resultados de aumento da agregação de um sistema para o outro pode ser devido ao efeito positivo das leguminosas nos sistemas plantio direto em longo prazo (Tabela 7).

Na interação (Tabela 8) entre os sistemas de manejo e camadas visualiza-se a formação dos dois grupos, o dos sistemas convencionais não diferindo de uma camada para outra e o grupo dos sistemas plantio direto que diferiram e apresentaram os maiores valores de DMP na camada 0-5 cm em relação à camada 5-10 cm, seguindo o mesmo comportamento do C orgânico.

Avaliando as diferenças entre os sistemas de manejo (Tabela 8) na camada 0-5 cm verificou-se que os convencionais não diferiram entre si, mas apresentaram menores valores de DMP em relação os sistemas plantio direto e estes também não diferiram entre si. A GR (3,19 mm) igualou-se ao D_AI_LL (4,02 mm) e ao D_GR_FP (4,58 mm). O maior efeito agregante no sistema plantio direto em comparação ao sistema convencional na camada superficial foi relatado por diversos autores CARPENEDO e MIELNICZUK (1990); BEUTLER et al. (2001) e WENDLING et al. (2005).

Na conversão para o plantio direto (Tabela 8), os acréscimos de DMP foram no D_AI_FP (108,9%), D_AI_LL (71%), D_DS_FP (214,1%), D_DS_LL (198,1%) e no D_GR_LL (56,1%) em relação aos seus respectivos convencionais AI, DS e GR. LACERDA et al. (2005) observaram que o DMP foi menor para o preparo convencional em relação ao sistema de plantio direto com 12 anos.

Na camada de 5-10 cm, o DS não diferiu do AI e nem dos outros sistemas plantio direto que usaram a leguminosa lablab. Esse resultado não era esperado, principalmente pelo longo prazo deste experimento, provavelmente o alto coeficiente de variação não permitiu essa diferença entre os sistemas avaliados. (Tabela 8).

4.3.3. Diâmetro médio geométrico

Na Tabela 7 observa-se que o coeficiente de variação para o DMG foi alto (36,8%). Quanto aos valores de DMG o DS (0,91 mm) não diferiu do AI (1,66mm) e da GR (2,14mm) e ainda igualou-se à maioria dos sistemas plantio direto. Campos et al. (1995) em um estudo realizado observou que o sistema de plantio direto apresentou o maior índice de agregação, medido por meio do diâmetro médio geométrico, quando comparado ao sistema convencional.

CASTRO FILHO et al. (1998) encontraram diâmetro médio geométrico 70% maior no plantio direto do que no preparo convencional na camada superficial do solo.

Na conversão para o plantio direto (Tabela 7) a única diferença observada foi o acréscimo do D_DS_FP (264%) em relação ao DS.

Na interação (Tabela 8) entre os sistemas de manejo e camadas visualiza-se a formação dos dois grupos, o dos sistemas convencionais não diferindo de uma camada para outra e o grupo dos sistemas plantio direto que diferiram e apresentaram os maiores valores de DMG na camada 0-5 cm em relação à camada 5-10 cm, seguindo o mesmo comportamento do C orgânico.

Avaliando as diferenças entre os sistemas de manejo (Tabela 8) na camada 0-5 cm, os sistemas plantio direto foram iguais entre si, exceto o D_DS_FF que apresentou acréscimo de 56% em relação ao D_AI_LL. Os sistemas convencionais também foram iguais entre si com valores de DMG inferiores ao sistema plantio direto, especialmente o DS (0,86 mm). Porém, AI (1,43 mm) e GR (2 mm) não diferindo do D_AI_LL (2,71).

Na conversão, os acréscimos de DMG, foram no D_AI_FP (163,6%), D_DS_FP (391,8%), D_DS_LL (347,6%), D_GR_FP (74,5%) e no D_GR_LL (103,0%) em relação aos respectivos convencionais AI, DS e GR (Tabela 8).

Na camada 5-10 cm os sistemas de manejo não diferiram entre si, exceto o DS (0,96 mm) que diferiu do D_DS_FP (2,40 mm) e do D_GR_FP (2,68 mm). BEUTLER et al. (2001) observaram em um trabalho realizado que os sistemas de manejo do solo propiciaram valores de diâmetro médio geométrico menor do que o cerrado nativo em todas as profundidades (Tabela 8).

4.3.4. Índice de estabilidade de agregados

Na Tabela 7 o IEA nos grupos de sistemas plantio direto e nos de convencionais foram iguais entre si, exceto a GR se assemelhou aos sistemas plantio direto. LACERDA et al. (2005) também encontraram os menores valores de IEA nos sistemas de manejo convencional, evidenciando diferenças significativas até a camada de 0,10 m. Na conversão para o plantio direto, os acréscimos foram

no D_AI_FP (43,8%), D_AI_LL (42,3%), D_DS_FP (52,3%) e no D_DS_LL (41,1%) em relação aos seus respectivos convencionais AI e D.

Na interação (Tabela 8) entre os sistemas de manejo e camadas, o IEA diferiu de uma camada para outra apenas nos sistemas plantio direto, exceto os D_GR_FP e D_GR_LL .

Avaliando as diferenças entre os sistemas de manejo (Tabela 8) na camada 0-5 cm, os sistemas plantio direto foram iguais entre si e diferentes dos convencionais, sendo os valores de IEA maiores, a exceção da GR que teve comportamento semelhante aos sistemas plantio direto.

Na conversão para o plantio direto, os acréscimos de IEA foram no D_AI_FP (56,1%), D_AI_LL (53,9%), D_DS_FP (73,9%), D_DS_LL (56,4%) em relação aos respectivos convencionais AI, DS.

Na camada 5-10 cm (Tabela 8) o IEA diferiu apenas nos sistemas D_GR_FP (70,67%) e D_GR_LL (63,17%) em relação ao do DS (46,33%) e AI (45,67%) .

4.3.5. Agregados maiores que 2mm

Na tabela 7 O AGRI apresentou um alto coeficiente de variação (31,44%). O menor valor de AGRI foi no DS (25,3 %) em relação aos sistemas plantio direto e dos convencionais diferiu apenas da GR (56,31 %).

TISDALL e OADES (1982) explicam que, em solos cultivados, os agregados são expostos frequentemente à desagregação física, quer pelo umedecimento e pelo impacto de gota de chuva, quer pelo cisalhamento por implementos agrícolas, uma vez que os agregados > 2 mm de diâmetro estáveis em água consistem em agregados e partículas mantidos juntos, principalmente pela rede fina de raízes e hifas, no caso de solos com teores de carbono elevado e, em solos com baixo conteúdo de carbono orgânico (< 10 g kg⁻¹), somente pelos agentes ligantes transitórios. Dessa forma como a estabilidade de agregados com

diâmetro superior a 2 mm é relacionada ao crescimento de raízes e hifas, ela é controlada pelas práticas agrícolas.

Na conversão para o plantio direto os acréscimos foram no D_DS_FP (191,9%) e no D_DS_LL (166,7%) em relação ao seu respectivo convencional DS (Tabela 7).

Na interação (Tabela 8) entre os sistemas de manejo e camadas, o AGRI diferiu de uma camada para outra apenas nos sistemas plantio direto com maiores valores na camada 0-5 cm. BEUTLER et al. (2001) constataram que o sistema de semeadura direta foi o que apresentou a maior porcentagem de agregados retidos na classe > 2mm na camada superficial.

WENDLING et al. (2005) observaram que a maior porcentagens de agregados estáveis maiores que 2 mm na camada superficial não deve ser explicado somente pelo maior conteúdo de matéria orgânica, mas também pelos ciclos de umedecimento e secagem que levam à desidratação de ligantes orgânicos e inorgânicos do solo que proporcionam a formação de agregados de maior tamanho.

Avaliando as diferenças entre os sistemas de manejo (Tabela 8) na camada 0-5 cm, os sistemas plantio direto foram iguais entre si e diferiram dos convencionais, exceto o D_AI_LL e D_GR_FP. Nos convencionais O DS (24,2%) diferiu apenas da GR (53,0%).

Na conversão para o plantio direto, os acréscimos de AGRI foram D_AI_FP (117,7%), D_AI_LL (77,1%), D_DS_FP (256%), D_DS_LL (237,8%) e no D_GR_LL (60,2%) em relação aos seus respectivos convencionais AI, DS e GR (Tabela 8).

Na camada 5-10 cm o AGRI diferiu e teve menor valor no DS (26,3%) em relação a GR (59,5%) e em relação aos diretos que utilizaram a leguminosa feijão de porco. Não houve diferenças significativas nesta camada em função da conversão para o plantio direto (Tabela 8).

4.3.6 Relação entre índices de agregação e C orgânico

Os coeficientes de correlação entre o C orgânico e todos os índices avaliados foram positivas : GF ($r = 0,68$), DMP ($r = 0,62$), DMG ($r = 0,63$), IEA ($r = 0,64$) e AGRI ($r = 0,62$), demonstrando a importância da matéria orgânica como agente de agregação das partículas do solo (ASSIS et al., 2010). O AGRI apresentou comportamento semelhante ao DMP. CAMPOS et al. (1995) verificaram altas correlações entre o C orgânico e o DMG.

CALEGARI et al. (2006) verificaram que o preparo convencional contribuiu para a diminuição dos teores de carbono orgânico do solo e menores valores de DMP, e menor percentagem de agregados $> 2,00\text{mm}$ (AGRI), enquanto maior agregação e aumento do teor de carbono orgânico foram observados no sistema plantio direto.

Por ser a matéria orgânica um poderoso agente de formação e estabilização dos agregados em solos com baixo teor de óxidos e argila é natural encontrar-se correlação positiva entre essas duas variáveis (PALADINI e MIELNICKZUK, 1991).

4.4. Indicadores da qualidade química do solo

Não houve efeito da adubação de cobertura em todos os indicadores de fertilidade do solo, esse resultado comprova inexistência do efeito residual do esterco aplicado na implantação deste experimento (Tabela 9).

O teor de C orgânico não diferiu entre os sistemas direto e apresentou maior concentração na camada superficial em relação aos sistemas convencionais. CAMPOS et al. (1995) verificaram maior teor de C orgânico no sistema plantio direto comparado ao sistema convencional.

O pH é a propriedade que apresenta menor variação quando comparado a outros atributos químicos no solo. O conhecimento da variabilidade dessa

propriedade é importante, principalmente para definir o manejo mais adequado a ser utilizado (CHAVES et al., 2004).

Tabela 9. Valores de pH (CaCl₂), C orgânico, P(resina), K, Ca, Mg, H+Al, SB, CTC e V% nos sistemas de manejo, adubação de cobertura e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm.

Causas de Variação	pH (CaCl ₂)	C orgânico g kg ⁻¹	P (resina) mg dm ⁻³	K	Ca	Mg mmol/dm ³	H + Al	SB	CTC	V --%--
Sistema de manejo (A)										
D_AI_FP	4,9	16,7abc	39	2,9 ab	22 ab	13 abc	31	38 abc	70 ab	51
D_AI_LL	5,0	19,1 a	51	2,3 bcd	27 a	15 a	32	45 a	77 a	55
D_DS_FP	5,0	17,6 ab	44	3,0 a	24 a	14 ab	32	41 ab	74 a	52
D_DS_LL	5,0	17,8 ab	38	2,1 cd	25a	14 ab	31	41 ab	73 a	54
D_GR_FP	4,9	17,9 ab	37	2,9 a	21ab	12 abc	32	37 abc	70 ab	51
D_GR_LL	4,9	18,0 ab	47	2,5 abcd	25 a	13 ab	33	41 ab	75 a	51
AI	4,8	14,7bc	30	2,0 d	18ab	7 c	32	28 bc	60 b	46
DS	4,7	14,3 c	28	2,0 d	14 b	8 bc	34	25 c	59 b	41
GR	5,0	16,7 abc	43	2,7 abc	21ab	12 abc	30	36 abc	66 ab	54
Teste F (A)	1,5 ^{ns}	5,9 ^{**}	2,4 ^{ns}	9,2 ^{**}	4,5 ^{**}	5,1 ^{**}	1,0 ^{ns}	5,0 ^{**}	8,0 ^{**}	2,0 ^{ns}
DMS (Tukey)	0,4	3,2	24	0,6	9,5	5,7	6,5	14,9	11,4	15,3
C.V.(%)	8,5	18,4	59,0	25,0	41,7	44,5	19,5	38,9	15,9	29,2
Adubação de cobertura (B)										
Com (120 Kg ha ⁻¹)	4,9	17,1	44	2,5	22	12	32 a	38	70	52
Sem N	4,9	16,9	35	2,4	21	12	32 a	36	69	49
Teste F (B)	1,0 ^{ns}	0,4 ^{ns}	3,5 ^{ns}	0,9 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,0 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,1 ^{ns}	1,2 ^{ns}
DMS (Tukey)	0,1	0,5	9,8	0,1	3,2	1,8	1,91	5,1	3,8	4,3
C.V.(%)	9,2	12,2	85	25,1	51	51,1	20,6	47,9	19,1	30,1
Camada (C)										
0 – 5 cm	5,3 a	22,5 a	48 a	3,0 a	34a	22,0 a	25 b	59 a	85 a	66 a
5 – 10 cm	4,9 b	17,0 b	45 ab	2,9a	20 b	11 b	33 a	34 b	68 b	50 b
10 – 20 cm	4,8 c	15,0 c	41 b	2,3 b	17bc	9,0 bc	35a	29 c	64 bc	44 c
20 – 30 cm	4,7 c	13,4 d	24 c	1,8 c	16 c	8,0 c	35a	25 c	60 c	41 c
Teste F (C)	100,6 ^{**}	153,4 ^{**}	70,9 [*]	70,4 ^{**}	103,2 ^{**}	99,8 ^{**}	63,9 ^{**}	109 ^{**}	78,9 ^{**}	133 ^{**}
DMS (Tukey)	0,1	1,18	4,7	0,2	3,0	2,39	2,0	5,4	4,5	3,51
C.V.(%)	4,0	13,7	23,2	18,6	27,4	37,7	12,4	29,0	13,0	13,7
Interação										
A X B	0,2 ^{ns}	0,6 ^{ns}	0,2 ^{ns}	3,4 [*]	0,3 ^{ns}	0,81 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,2 ^{ns}
A X C	4,4 ^{**}	7,9 ^{**}	2,1 ^{**}	4,3 ^{**}	6,2 ^{**}	5,22 ^{**}	3,0 ^{**}	5,9 ^{**}	5,9 ^{**}	5,2 ^{**}
B X C	1,5 ^{ns}	0,8 ^{ns}	1,1 ^{ns}	0,8 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,7 ^{ns}	0,6 ^{ns}	1,3 ^{ns}
A X B X C	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}	1,2 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,4 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,5 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,5 ^{ns}
Média geral	4,9	17,0	40	2,5	22	12	32	37	69	50

Valores com letras iguais na coluna não diferem pelo teste Tukey (P < 0,05)

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

Os valores de pH variaram entre 4,8 e 5,0 e não diferiram entre os sistemas de manejo, concordando com ALMEIDA et al. (2005) que observaram após seis anos de cultivo continuado do solo que o pH não apresentou diferença significativa entre os tratamentos sob preparo convencional e semeadura direta (Tabela 9)

Os teores de P situaram-se entre médio a alto, variando de 28 a 51 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$ (RAIJ et al., 2001) e não diferiram entre si nos sistemas de manejo avaliados, porém o coeficiente de variação foi alto (59%) e pode ter interferido nesse resultado (Tabela 9).

O K apresentou teores médios entre todos os tratamentos. No grupo dos convencionais o maior valor ocorreu na GR (2,7 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$) em relação ao DS (2,0 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$) e AI (2,0 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$), provavelmente pelo menor revolvimento do solo que ocorre com a grade pesada nesse sistema (Tabela 9).

O K foi o único nutriente que apresentou interação significativa com a adubação de nitrogênio em cobertura e a diferença entre, com nitrogênio e sem nitrogênio, foi verificada apenas nos tratamentos GR e D_GR_LL (Tabela 9).

Os teores de Ca foram altos ($> 7 \text{ mmol}_e/\text{dm}^3$) em todos os sistemas de manejo variando de 14 a 27 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$ e os de Mg variaram de médio a alto (RAIJ et al., 2001). Pode-se considerar que a calagem corrigiu a acidez e manteve os teores desses nutrientes mais que suficiente. Os teores de Ca e Mg foram superiores na camada 0-5 cm diminuindo em profundidade (Tabela 9).

A CTC foi mais elevada na camada 0-5 cm dos sistemas plantio direto e não diferiu entre as camadas dos sistemas convencionais. FALLEIRO et al. (2003) verificaram esse aumento da CTC nos sistemas plantio direto e atribuíram esse fato ao aumento da matéria orgânica (Tabela 9).

A acidez potencial não diferiu entre os sistemas de manejo avaliados. Apresentou menor valor (25,8 $\text{mmol}_e/\text{dm}^3$) na camada 0-5 cm em relação às demais camadas. O V% não diferiu entre todos os sistemas de manejo, sendo considerado eutrófico os valores acima de 50% (Tabela 9).

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema (Tabela 10), o pH foi mais elevado na camada 0-5 cm nos sistemas plantio direto, devido à calagem superficial em longo prazo, contrariando a maioria das pesquisas que afirmam a ocorrência da acidificação superficial nesse sistema, pela adição continuada de materiais orgânicos e liberação de ácidos orgânicos (BAYER, 1992).

Tabela 10. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de pH (CaCl₂), C orgânico, e P (resina) do solo.

Sistemas de Manejo	Camada (cm)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
pH				
AI	4,88 bA	4,97 A	4,90 A	4,72 A
D_AI_FP	5,62 aA	4,87 B	4,68 B	4,68 B
D_AI_LL	5,65 aA	5,05 B	4,90 BC	4,72 C
D_DS_FP	5,42 aA	4,90 B	4,83 B	4,87 B
D_DS_LL	5,50 aA	5,00 B	4,92 B	4,77 B
D_GR_FP	5,50 aA	4,82 B	4,75 B	4,80 B
D_GR_LL	5,53 aA	4,82 B	4,77B	4,73 B
DS	4,80 bAB	4,87 A	4,68 AB	4,53 B
GR	5,25 abA	5,32 A	4,82 B	4,77 B
C orgânico (g kg ⁻¹)				
AI	14,67 dA	15,50 A	15,00 A	14,00 A
D_AI_FP	24,17 bA	16,00 B	14,17 B	12,83 B
D_AI_LL	29,33 aA	17,00 B	15,67 B	14,50 B
D_DS_FP	22,67 bcA	17,17 B	15,50 B	15,17 B
D_DS_LL	26,50 abA	17,50 B	14,83 BC	12,67 C
D_GR_FP	26,33 abA	17,67 B	15,00 BC	12,67 C
D_GR_LL	26,00 abA	18,00 B	14,67 BC	13,33 C
DS	14,50 dA	15,33 A	14,83 A	12,67 A
GR	18,67 cdA	18,83 A	16,17 AB	13,33 B
P (mg dm ⁻³)				
AI	30,17 bA	32,67 abA	33,67 A	24,17 A
D_AI_FP	47,33 abA	42,67 abA	42,17 A	27,50 B
D_AI_LL	59,00 aA	57,50 abA	56,83 A	33,33 B
D_DS_FP	53,17 abA	49,33 abA	48,83 A	28,50 B
D_DS_LL	54,67 abA	38,83 abB	38,33 B	21,67 C
D_GR_FP	53,17 abA	45,33 abAB	35,50 B	17,33 C
D_GR_LL	59,50 aA	52,50 abA	47,50 A	29,00 B
DS	29,17 bA	29,83 bA	34,17 A	20,33 A
GR	53,50 abAB	59,17 aA	40,33 B	20,17 C

Valores com letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$), Letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada e maiúsculas na linha comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema mostrou que os efeitos do C orgânico ocorreram na camada superficial 0-5 cm, conforme discutido no tópico índices de agregação deste estudo.

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada (Tabela 10) mostrou na camada 0-5 cm que os teores de P no grupo dos sistemas direto apresentaram maiores valores em relação ao grupo dos sistemas convencionais. Os sistemas direto foram iguais entre si e entre os convencionais apenas a GR igualou-se à maioria dos sistemas plantio direto, pela ação da grade pesada proporcionar distribuição do adubo em menor profundidade.

O P é um nutriente de baixa mobilidade e tem sido encontrado em altas concentrações na superfície de sistemas plantio direto (BAYER e MIELNICZUCK, 1997) fato atribuído à não incorporação dos adubos fosfatados, à pequena mobilidade desse nutriente e ao menor contato desses adubos com a fração mineral do solo, que reduzem os processos de adsorção (MUZILLI, 1983).

Apesar das altas concentrações desse nutriente em sistema de semeadura direta, sua disponibilidade para as plantas pode ser comprometida. De acordo com ELTZ et al. (1989), o fósforo, por déficit hídrico na superfície do solo, pode tornar-se pouco disponível para o sistema radicular, restando à planta extraí-lo de profundidades maiores. Se houver deficiência de cálcio, porém, nas camadas mais profundas, a raiz terá dificuldade para crescer em profundidade, pois necessita desse elemento na sua zona de crescimento. Com isso, a planta pode sofrer estresse considerável por deficiência de água e outros nutrientes. Nesse estudo, não ocorreu déficit hídrico (Tabela 1) e nem ocorreu deficiência de cálcio (Tabela 9) durante a avaliação do experimento.

Tabela 11. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de Ca, Mg e K do solo.

Sistemas de Manejo	Camada (cm)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
Ca (mmol _c /dm ³)				
AI	18,00 dA	20,17 A	19,50 A	15,67 A
D_AI_FP	44,83 abA	18,33 B	15,50 B	14,33 B
D_AI_LL	50,67 aA	23,33 B	19,67 B	16,33 B
D_DS_FP	39,17 abA	18,83 B	18,50 B	21,00 B
D_DS_LL	42,50 abA	22,67 B	20,83 B	16,50 B
D_GR_FP	35,83 bcA	18,17 B	17,50 B	16,17 B
D_GR_LL	46,00 abA	20,33 B	18,17 B	16,33 B
DS	15,00 dA	16,50 A	13,17 A	12,33 A
GR	24,17 cdAB	27,83 A	18,17 B	15,33 B
Mg (mmol _c /dm ³)				
AI	7,67 bA	8,67 A	8,50 A	6,67 A
D_AI_FP	29,00 aA	10,00 B	7,83 B	7,00 B
D_AI_LL	31,33 aA	12,50 B	10,67 B	9,17 B
D_DS_FP	25,67 aA	10,50 B	9,50 B	11,50 B
D_DS_LL	26,50 aA	11,83 B	10,17 B	8,17 B
D_GR_FP	24,67 aA	10,33 B	8,17 B	8,00 B
D_GR_LL	28,50 aA	10,00 B	8,50 B	7,67 B
DS	9,83 bA	10,67 A	8,33 A	6,67 A
GR	15,50 bAB	17,17 A	9,33 BC	7,50 C
K (mmol _c /dm ³)				
AI	2,13 bA	2,27 bA	2,05 aA	1,83 A
D_AI_FP	4,23 aA	3,22 abB	2,48 aC	1,68 D
D_AI_LL	2,38 bAB	2,85 abA	2,25 aAB	1,82 B
D_DS_FP	4,03 aA	3,37 aA	2,53 aB	2,07 B
D_DS_LL	2,60 bA	2,57 abA	1,92 aAB	1,60 B
D_GR_FP	4,17 aA	3,47 aA	2,27 aB	2,07 B
D_GR_LL	2,80 bA	2,95 abA	2,43 aAB	2,07 B
DS	2,03 bAB	2,33 bA	2,13 aAB	1,62 B
GR	2,72 bAB	3,32 aA	2,85 aA	2,02 B

Valores com letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$), Letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada e maiúsculas na linha comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada mostrou que na camada 0-5 cm os teores de K foram mais elevados nos sistemas diretos com a leguminosa feijão de porco (Tabela 11).

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema observou-se nos sistemas plantio direto os maiores teores de K na superfície, concordando com CENTURION et al. (1985), FALLEIRO et al. (2003). Nos sistemas de manejo convencional a ação dos arados pode estar influenciando o comportamento deste nutriente, pois no tratamento AI os teores de K não diferiram entre as camadas. Os arados de aiveca promovem melhor a inversão da leiva e apresentam maior capacidade de penetração, invertendo as camadas do solo com menor esboroamento (BALASTREIRE, 1990) proporcionando essa uniformidade na distribuição do nutriente (Tabela 11).

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada mostrou de 0-5 cm a separação entre o grupo dos sistemas direto e o dos convencionais, com maiores teores de Ca e Mg no grupo dos sistemas direto. Nesse sistema, por ter se procedido à calagem sem incorporação, ocorre o acúmulo desses nutrientes na superfície (MUZILI, 1983).

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema (Tabela 11), os maiores teores de Ca e Mg ocorreram na camada 0-5 cm dos sistemas plantio direto reduzindo em profundidade, enquanto nos convencionais os teores não diferiram entre as camadas avaliadas em função da incorporação do calcário nesse sistema.

Os valores de SB acompanharam as diferenças entre os teores de Ca e Mg componentes da SB (Tabela 12).

Tabela 12. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm para os valores de SB e CTC do solo.

Sistemas de Manejo	Camada (cm)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
SB (mmol _c /dm ³)				
AI	27,80 bA	31,10 A	30,05 A	24,17 A
D_AI_FP	74,06 aA	31,55 B	25,82 B	23,02 B
D_AI_LL	84,38 aA	38,68 B	32,58 B	27,32 B
D_DS_FP	68,87 aA	32,70 B	30,53 B	34,57 B
D_DS_LL	71,60 aA	37,07 B	32,92 B	26,27 B
D_GR_FP	64,67 aA	31,97 B	27,93 B	26,23 B
D_GR_LL	77,30 aA	33,28 B	29,10 B	26,06 B
DS	26,87 bA	29,50 A	23,63 A	20,62 A
GR	42,38 bAB	48,32 A	30,35 BC	24,85 C
CTC (mmol _c /dm ³)				
AI	58,80 bA	61,10 A	62,05 A	60,50 A
D_AI_FP	95,40 aA	65,72 B	61,82 B	58,52 B
D_AI_LL	106,88 aA	73,02 B	67,08 B	64,48 B
D_DS_FP	95,20 aA	66,53 B	66,53 B	68,57 B
D_DS_LL	97,10 aA	70,23 B	66,75 B	59,43 B
D_GR_FP	90,16 aA	69,30 B	64,10 B	58,23 B
D_GR_LL	102,13 aA	72,45 B	66,43 B	60,57 B
DS	58,03 bA	60,67 A	59,13 A	60,12 A
GR	67,05 bA	76,32 A	64,68 AB	57,85 B

Valores com letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$), Letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada e maiúsculas na linha comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo.

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

A CTC é de grande importância no que diz respeito à fertilidade do solo, uma vez que indica a capacidade total de retenção de cátions, os quais, em geral, irão tornar-se disponíveis às plantas (CHAVES et al., 2004).

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema (Tabela 12), observou-se que nos sistemas direto a CTC foi maior na camada 0-5 cm, e no grupo dos convencionais não diferiu entre as camadas (Tabela 13). FALLEIRO et al. (2003) verificaram o aumento da CTC a pH 7 na semeadura direta e atribuíram esse fato ao aumento da matéria orgânica.

Tabela 13. Interação entre sistemas de manejo e camadas 0-5, 5-10, 10-20 e 20-30 cm dos para os valores de H+Al e V% do solo.

Sistemas de Manejo	Camada (cm)			
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	20-30 cm
H+Al (mmol _c /dm ³)				
AI	31,00 aAB	30,00 bcB	32,00 AB	36,33 A
D_AI_FP	21,33 bB	34,17 abcA	36,00 A	35,50 A
D_AI_LL	22,50 abB	34,33 abcA	34,50 A	37,17 A
D_DS_FP	26,33 abB	33,83 abcA	36,00 A	34,00 A
D_DS_LL	25,50 abB	33,17 abcA	33,83 A	33,17 A
D_GR_FP	25,50 abB	37,33 abA	36,17 A	32,00 A
D_GR_LL	24,83 abB	39,17 aA	37,33 A	34,50 A
DS	31,17 aB	31,17 abcB	35,50 AB	39,50 A
GR	24,67 abC	28,00 cBC	34,33 A	33,00 AB
V (%)				
AI	47,00 bAB	50,67 A	48,00 AB	39,83 B
D_AI_FP	76,33 aA	47,50 B	41,17 B	39,00 B
D_AI_LL	78,00 aA	52,83 B	47,83 BC	41,67 C
D_DS_FP	69,00 aA	48,83 B	45,50 B	46,50 B
D_DS_LL	73,50 aA	52,50 B	48,67 B	43,67 B
D_GR_FP	71,00 aA	45,67 B	43,33 B	44,83 B
D_GR_LL	74,83 aA	45,83 B	43,50 B	42,83 B
DS	45,83 bA	47,00 A	39,67 AB	33,67 B
GR	63,00 abA	63,33 A	46,83 B	42,83 B

Valores com letras iguais não diferem pelo teste Tukey ($P < 0,05$), Letras minúsculas na coluna comparam diferentes sistemas de manejo dentro da mesma camada e maiúsculas na linha comparam diferentes camadas dentro do mesmo sistema de manejo. AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

A utilização de sistemas de manejo do solo sem revolvimento e alta adição de resíduos culturais por cinco anos promoveu aumento nos teores de carbono orgânico total e na CTC do solo, com reflexos na maior retenção de cátions, indicando ser viável a recuperação de solos degradados por sistemas de manejo em médio prazo. Essas modificações se restringiram às camadas superficiais (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada mostrou que o tratamento AI e DS diferiram com maiores valores de acidez potencial (31 e 31,1 mmol_e/dm³) do tratamento D_AI_FP (21,3 mmol_e/dm³) na camada 0-5 cm. Os demais tratamentos não diferiram entre si nas camadas. De acordo com BISSANI et al. (2006), na camada superficial do sistema plantio direto a redução da acidez potencial pode ser devido à complexação do alumínio pelas substâncias orgânicas formadas no processo de decomposição do material vegetal, diminuindo a atividade do alumínio na solução do solo (Tabela 13).

Na interação entre as camadas dentro de cada sistema verificou-se que a acidez potencial aumentou em profundidade no sistema plantio direto, diferindo dos resultados de ALMEIDA et al. (2005) que encontraram os teores mais elevados de acidez potencial na camada superficial acompanhando os maiores teores de C orgânico. Nos sistemas convencionais essa variação entre a camada superficial e a mais profunda foi menor, provavelmente devido à incorporação do calcário (Tabela 13).

A interação entre sistemas de manejo dentro de cada camada apresentou maiores valores de V% na camada 0-5 cm dos sistemas plantio direto, reduzindo em profundidade. Nesse sistema o V% variou de 69 a 78%, satisfazendo as recomendações de saturação por bases para a cultura do milho (Tabela 13).

4.5. Produtividade do milho

Os valores médios de produtividade do milho CONAB (2009) para o Estado de São Paulo foram 4838 kg ha⁻¹ (safras 07/08), 4659 kg ha⁻¹ (safra 08/09) e estimada de 5162 kg ha⁻¹ (safra 09/10).

A produtividade do milho (safra 07/08 e 08/09) não apresentou diferença significativa entre os sistemas de manejo avaliados. O valor médio para a safra 07/08 foi de 4568 kg ha⁻¹. A maior produtividade nessa safra (4815 kg ha⁻¹) ocorreu na presença da adubação nitrogenada (Tabela 14).

Nas duas safras seguintes a produtividade quase dobrou com médias de 8029 kg ha⁻¹ (safra 08/09) e 8746 kg ha⁻¹ (safra 09/10), porém essa produtividade ainda ficou abaixo da estimada por RAIJ et al. (2001) para solos que permitam à planta alta resposta de N (8.000 a 10.000 kg ha⁻¹). Essas diferenças de produtividade do milho entre as safras poderiam ser explicadas pelo maior aporte de matéria seca das leguminosas e da palhada do milho neste experimento, porém, estas não foram avaliadas estatisticamente (Apêndice 3). De acordo com BAYER et al. (1997), o cultivo intercalar de leguminosas, além de proteger o solo, fornece N e aumenta o rendimento do milho.

Na safra 09/10 (Tabela 14), os tratamentos não diferiram entre si, a exceção do tratamento D_GR_LL (9785 kg ha⁻¹) que diferiu e foi superior aos sistemas de manejo convencional. SOUZA NETO et al. (2008) verificaram que a produtividade de milho foi semelhante entre os sistemas de semeadura direta com utilização de plantas de cobertura e o sistema convencional depois do pousio, exceto na utilização da espécie lablab, que proporcionou a menor produtividade.

Tabela 14. Produtividade do milho nas safras 2007/2008, 2008/2009 e 2009/2010.

Causas de variação	Safra 2007/2008	Safra 2008/2009	Safra 2009/2010
	kg há ⁻¹		
Sistemas de Manejo (A)			
AI	4620	8897	7980 b
D_AI_FP	4468	6960	9021 ab
D_AI_LL	4822	7696	9450 ab
D_DS_FP	4340	8012	8773 ab
D_DS_LL	4301	8447	9543 ab
D_GR_FP	4664	8321	8171 ab
D_GR_LL	4808	7016	9785 a
DS	4435	8466	7915 b
GR	4660	8448	8079 b
Teste F (A)	0,71 ^{ns}	1,70 ^{ns}	4,96**
DMS (Tukey)	1144	2608	1664
C.V. (%)	12,19	15,81	9,26
Aducação de cobertura (B)			
Com N (120 kg ha ⁻¹)	4815 a	7998	9501 a
Sem N	4322 b	8060	7992 b
Teste F (B)	9,50**	0,06 ^{ns}	60,95**
DMS (Tukey)	336	520	406
CV(%)	12,86	11,34	8,12
Interação			
A X B	1,87 ^{ns}	1,13 ^{ns}	2,77*
Média geral	4568	8029	8746

Valores seguidos da mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente pelo teste Tukey (P < 0,05).

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada

Tabela 15. Interação entre os sistemas de manejo e adubação de cobertura para a produtividade do milho na safra 2009/2010.

Sistemas de Manejo	Produtividade (kg ha ⁻¹)	
	Com N (120 kg ha ⁻¹) em cobertura	Sem N em cobertura
AI	9203 A	6757 cdB
D_AI_FP	9274 A	8769 abcA
D_AI_LL	10330 A	8571 abcB
D_DS_FP	9412 A	8134 abcdB
D_DS_LL	9966 A	9121 abA
D_GR_FP	8857 A	7485 bcdB
D_GR_LL	9957 A	9613 aA
DS	8728 A	7103 bcdB
GR	9785 A	6374 dB

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (P<0,05)

AI- arado de aiveca, D_AI_FP- Plantio direto aiveca feijão de porco, D_AI_LL – plantio direto aiveca lablab, D_DS_FP- plantio direto disco feijão de porco, D_DS_LL- plantio direto disco lablab, D_GR_FP- plantio direto grade feijão de porco, D_GR_LL- plantio direto grade lablab, DS- arado de disco, GR- grade pesada

A interação entre a produtividade e adubação de cobertura na safra 09/10 (Tabela 15), mostrou que nos tratamentos sem adubação de cobertura nitrogenada, a produtividade do milho atingiu valores acima da média do estado variando de 6374 a 9121 kg ha⁻¹. Nos sistemas de manejo conservacionista, essa produtividade pode estar refletindo o efeito benéfico do uso de plantas de cobertura em pré-safra para o suprimento de N à cultura do milho, concordando com ANDRIOLI et al. (2008), o que poderia contribuir com os produtores de baixa renda na redução do uso de fertilizantes nitrogenados. Enquanto, nos sistemas de manejo convencional, os valores podem ser refletidos pelos níveis satisfatórios de fertilidade avaliados neste experimento em consequência da incorporação do calcário e dos restos culturais do milho em longo prazo.

A adubação com N em cobertura foi superior apenas em D_AI_LL, D_DS_FP e D_GR_FP e em todos os convencionais. AMADO (2000) tem encontrado maior acúmulo na biomassa de N em sistema convencional.

5. CONCLUSÕES

1. Os indicadores de qualidade física como densidade do solo e o sistema poroso não variaram entre os sistemas de manejo.
2. Os indicadores de qualidade química apresentaram níveis variando de médio a alto de fertilidade do solo em todos os sistemas de manejo.
3. Os índices de agregação diferenciaram os sistemas plantio direto dos sistemas convencionais, sendo superior nos sistemas plantio direto na camada 0-5 cm.
4. O índice S indicou boa qualidade estrutural em todos os sistemas avaliados e mostrou-se mais relacionado ao sistema poroso do que aos teores de C orgânico do solo.
5. A produtividade do milho aumentou a cada ano em todos os sistemas de manejo. Nos sistemas plantio direto, com uso de leguminosas em pré-safra (em longo prazo), ocorreu melhoria da produtividade, mesmo sem adubação de cobertura com nitrogênio.

6. REFERÊNCIAS

AGOSTINI, L.I. **Plantio direto em diversas condições de uso e manejo de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso: Efeito nas propriedades físicas e químicas e na produção de grãos de soja.** 2001. 77 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia- Ciência do Solo). FCAV/UNESP. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2001.

ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J. ; BAYER, C. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 29, p. 415-424, 2005.

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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p. 115-119, 1995.

ALMEIDA, J.A. et al. Propriedades químicas de um Cambissolo Húmico sob preparo convencional e semeadura direta após seis anos de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.437-445, 2005.

ANDRADE, R.da S; STONE, L.F. Índice S como indicador da qualidade física de solos do cerrado brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v.13, n.4, p.382-388, 2009.

ANDREOTI, M.; RODRIGUES, J.D.; CRUSCIOL, C.A.C.; SOUZA, E.C.A.; BULL, L.T. Crescimento do milho em função da saturação por bases e da adubação potássica. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n.1, p.145-150, 2001.

ANDRIOLI, I. **Plantas de cobertura em pré-safra a cultura do milho em plantio direto, na região de Jaboticabal-SP**. 2004. 78f. Tese (Livre Docência em Pedologia) - "Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2004.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Brasília, 1999. **Anais**. Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1999.1-4.

ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ANDRIOLI, F.F.; COUTINHO, E.L.M. Produção de milho em plantio direto com adubação nitrogenada e cobertura do solo na pré-safra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p.1691-1698, 2008.

AMADO, T.J.C.; MIELNICZUC, J.; FERNANDES, S.B.V. Leguminosas e adubação mineral como fontes de nitrogênio para o milho em sistemas de preparo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 23, p. 179-189, 2000.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n.2, p. 337-345, 2004.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; WILDNER, L.P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.425-435, 2005.

ARRUDA, F.B.; ZULLO, JR.; OLIVEIRA, J.B. Parâmetros de solo para cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.11, p.11-15, 1987.

ARSHAD, M.A.; LOWERY, B.; GROSSMAN, B. **Physical tests for monitoring soil quality**. In: DORAN, J.W., JONES, A.J. (Eds.). Methods for assessing soil quality. Madison: Soil Science Society of America, 1996, p. 123-141 (SSSA Special Publication.49).

ARSHAD, M.A.; MARTIN, S. Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. Agriculture, **Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v. 88, p.153-160. 2002.

ASSIS, S. S., LIMA, J. S. S., XAVIER, A. C. ; TEIXEIRA, M. M. Variabilidade espacial de atributos químicos de um Latossolo Vermelho Amarelo Húmico cultivado com café. **Revista brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.34, p.15-22, 2010.

BALASTREIRE, L.A. **Máquinas agrícolas**, São Paulo, 1990,307p.

BARBOSA J.C.; MALDONADO JR, W. AgroEstat – **Sistema para análises estatísticas de ensaios agronômicos**, versão 1.0, 2010 (no prelo).

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H. **Soil physics**. 4th. New York: John Wiley e Sons, 1972. 529p.

BAYER, C. **Características químicas do solo, nutrição e rendimento do milho afetados por métodos de preparo e sistemas de culturas**. 1992. 172 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1992.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.105-112, 1997.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D. Propriedades físicas do solo sob preparo convencional e semeadura direta em rotação e sucessão de culturas, comparadas às do campo nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, vol.28, n.1, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A. N.; SILVA, N. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; CRUZ, J. N.; PEREIRA FILHO, I. A. Resistência a penetração e permeabilidade de Latossolo Vermelho Distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1 p.167-177, 2001.

BEUTLER, A.N.; FREDDI, O.S.; LEONE, C.L.;CENTURION, J.F. Densidade relativa do solo e parâmetro "S" como indicadores da qualidade física para culturas anuais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.8,n.2 p.27-36, 2008.

BEUTLER, A.N.; SILVA, N.L.N.; CURI, N.; FERREIRA, M.M.; PEREIRA FILHO, I. CRUZ, J. Agregação de Latossolo vermelho distrófico típico relacionada com manejo na região dos Cerrados no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, n.1, p.129-136, 2001.

BISSANI, C.A.; MEURER, E.G.; BOHEN, H. **Solos ácidos e solos afetados por sais**. In: MEURER, E.J. (Org.). Fundamentos de Química do Solo. Porto Alegre: Gênese. 2006. p.163-183.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Particle density. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. 2nd. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.377-382.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M.F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. Soil particle aggregation improvement through no-tillage system. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 27, no. 2, p.147-158, 2006.

CAMPOS, B.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. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.121-126, 1995.

CANDAN, F.; BROQUEN. Aggregate stability and related properties in NW Patagonian Andisols. **Geoderma**, Amsterdam, n.154, p. 42-47, 2009.

CANELLAS, L.P.; VELLOSO, A.C.X.; MARCIANO, C.R.; RAMALHO, J.F.G.P.; RUMJANEK, V.M.; RESENDE, C.E.; SANTOS, G.A. Propriedades químicas de um Cambissolo cultivado com cana-de-açúcar, com preservação do palhico e adição de vinhaça por longo tempo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 935-944, 2003.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade dos agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.14, p.99-105, 1990.

CARVALHO Jr., O.S.; GASCÓ, J.M.; LOPEZ, F.G. ; REQUEJO, A.S. Variabilidade espacial de algumas propriedades químicas e físicas de um solo submetido a diferentes sucessões de cultivo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 497-503, 1998.

CARVALHO, E.J.M.; FIGUEIREDO, M.S.; COSTA, L.M. Comportamento físico-hídrico de um Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.257-265, 1999.

CASTRO FILHO, C.; LOURENÇO, A.; DE F. GUIMARÃES, M.; FONSECA, I. C. B. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.65, n.1, p.45-51. 2002.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A.L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotação de culturas e métodos de

preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.527-538, 1998.

CASTRO, A.J.S. Alterações químicas no solo indicadas pela aplicação superficial de palha de cana-de-açúcar, calcário. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.25, n.4, p.265-272, 2004.

CENTURION, J.F.; DEMATÊ, J.L.I.; FERNANDEZ, F.M.. Efeitos de sistemas de preparo nas propriedades químicas de um solo sob cerrado cultivado com soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.267-270, 1985.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO DO MINISTÉRIO DE AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Levantamentos de safra. Disponível em < <http://conab.gov.br> >. Acesso em 25.08.10.

CHAVES, L.H.G.; TITO, G.A.; CHAVES, I.B.; LUNA, J.G.; SILVA, P.C.M. Propriedades químicas do solo aluvial da ilha de Assunção – Cobrobó (Pernambuco). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, p.431-437, 2004.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.527-535, 2003.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 443-461.

DEXTER, A.R. Soil physical quality .Part III. Unsaturated hydraulic conductivity and general conclusions about S-theory. **Geoderma**, Amsterdam, v.120, p.227-239, 2004c.

DEXTER, A.R. Soil physical quality. Part I. Theory, effects of soil texture, density, and organic matter, and effects on root growth. **Geoderma.**, Amsterdam, v.120, p.201-214, 2004a.

DUIKER, S. W. et al. Iron oxide crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 67, p. 606-611, 2003.

ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.13, p.259-267, 1989.

FALLEIRO, R.M.; SOUZA, C.M.; SILVA, C.S.W.; SEDIYAMA, C.S.; SILVA, A.A.; FAGUNDESS, J.L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p. 1097-1104, 2003.

FASSBENDER, H.W.; BORNEMIZSA, E. **Química de suelos con énfasis em suelos de América Latina**. 2nd., San José. IICA, 1987.

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 dos poros em dois solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.329-333, 1983.

FLORES, A.C.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A.; PAULETTO, E. A. Recuperação da qualidade estrutural pelo sistema plantio direto de um Argissolo Vermelho. **Ciência Rural**, Santa Maria, p.2164-2172, 2008.

GALETI, P.A. **Mecanização agrícola preparo do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1981. 221p.

GEE, G.W. ; BAUDER, J.W. Particle-size Analysis. In: KLUTE, A., (ed). **Methods of soil analysis**. 2nd., Madison, 1986. p.383-411.

GROHMANN, F.; ARRUDA, H.V. Influência do preparo do solo sobre a estrutura da Terra-Roxa-Legítima. **Bragantia**, Campinas, v. 20, p.1203-1209, 1961.

GROHMANN, F.; MEDINA, H.P. Características de umidade dos principais solos do estado de São Paulo. **Bragantia**, v.21, p.285-295, 1962.

HERNANDEZ, R.J.M.; SILVEIRA, R.L. Efeitos da saturação por bases, relações Ca:Mg no solo e níveis de fósforo sobre a produção de material seco e nutrição mineral do milho (*Zea mays* L.). **Scientia Agricola**. Piracicaba, v.55, n.1, p. 1-11,1998.

ISLAM, K.R. ; WEIL, R.R.. Soil quality properties in mid-Atlantic soil as influenced by management. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeny, v. 55 , p.69, 2000.

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. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p.4-10, 1997.

KARLEN, D.L.; WOLLENHAUPT, N.C.; ERBACK, D.C.; BERRY, E.C., SWAN, J.B.; EASH, N.S.; JORDAHL, J.L. Crop residue effects on soil quality following 10-years of no-till corn. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 31, n.2/3, p.149-167, 1994.

KEMPER, W.D. ; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates: In: BLAKE, C.A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E.; CLARK, F.E. (Ed.). **Methods of soil analysis**: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.499- 510.

KEMPER, W.D.; ROSENAU, R.C. Aggregate stability and size distribution. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis**. 2nd. Madison: American Society of Agronomy, 1986. v.1, p.499-509.

KLUTHCOUSKI, J. Manejo do solo e rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia agricola**, Piracicaba, v.27, n.1, p. 1-15, 2000.

KLUTE, A. Water retention: laboratory methods. In: KLUTE, A. **Methods of soil analysis** 2 ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p. 635-662.

LACERDA, N.B.; ZERO, V.M.; BARILLI, J.; MORAES, M.H.; BICUDO, S.J. Efeito de sistemas de manejo na estabilidade de agregados em um Nitossolo Vermelho. **Revista de Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.686-695, 2005.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, Heidelberg, v.1, p.277-291, 1985.

LIMA, C.L.R. **Compressibilidade de solo versus intensidade de tráfego em um pomar de laranja e pisoteio animal em pastagem irrigada**. 2004, 70f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

MARTINS, R. M. G.; JUNIOR, E. J. R. Culturas antecessoras influenciando a cultura de milho e os atributos do solo no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 27, n. 2, p. 225-232, 2005.

MASCARENHAS, H.A.A; TANAKA.R.T.; CARMELLO, Q.A.C.; GALO, P.B.; AMBROSANO,G.M.B. Calcário e Potássio para cultura da soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.3, p.445-449, 2000.

MERTEN, G.H. **Manejo de solos de baixa aptidão agrícola no centro-sul do Paraná**. Londrina: IAPAR, p.1-23, 1994, (Circular Técnica, 4).

MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto, comparado ao convencional, sobre a fertilidade da camada arável do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.95-102, 1983.

OADES, J.M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil**, The Hague, n. 76, p. 319-337, 1984.

OLIVEIRA, G.C.; DIAS JUNIOR, M.S.; RESCK, D.V.S. & CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.28, p.327-336, 2004.

PALADINI, F.L. S.; MIELNICZUK, J. Distribuição de tamanho de agregados de um solo Podzólico Vermelho Escuro afetado por sistemas de culturas. **Revista Brasileira de ciência do solo**, Viçosa, v.15, p. 135-140, 1991.

RADFORD, B.J. ; YULE, D.F. ; MCGARRY, D.; PLAYFORD, C. Crop response to applied soil compaction and to compaction repair treatment. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v.26, n.3/4, p.155-170, 2001.

RAIJ, B. VAN; CANTARELA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas, Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997. 285p.

RAIJ, B.VAN; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Editora: IAC. 2001. .284p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Editora Manole, 1990, p 27-65.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Revista Ciência e Ambiente**, Santa Maria, v.27, p..29-48, 2003.

REID, J.B.; GOSS, M.J. Interactions between soil drying due to plant water use and decreases in aggregate stability caused by maize roots. **Journal of Soil Science**, Madison, v. 33, p.47-53, 1982.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; CARVALHO FILHO. Propriedades físicas de um Latossolo e Argissolo em função de práticas de manejo aplicadas na entrelinha da cultura da seringueira (*Hevea brasiliensis*). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, p.781-787, 2002.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C.A.; EVANS,D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**.Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.128-152.

ROSOLEM, C.A. et al. Potássio no solo em consequência da adubação sobre a palha de milho e chuva simulada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.6, p.1033-1040, 2006.

SANTOS, H.P.; FONTANELI, R.S.; TOMM, G.O.; SPERA, S.T. Efeito de sistemas de produção mistos sob plantio direto sobre fertilidade do solo após oito anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 57, p.545-552, 2003.

SCHOENHOLTZ, S.H.; VAN MIEGROET, H.; BURGER, J.A. A Review of chemical and physical properties as indicators of forest soil quality: challenges and opportunities. **Forest Ecology and Management**, Wageningen, v.138, p.335-356, 2000.

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

SHUKLA, M.K.; LAL, R. ; EBINGER, M. Determining soil quality indicators by factor analysis. **Soil and Tillage Research**, Amsterdam, v. 87, p.194-204, 2006.

SIDIRAS, N.; PAVAN, M.A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.9, p.249-254, 1985.

SILVA, E.M. da; AZEVEDO, J.A. de. Influência do período de centrifugação na curva de retenção de água em solos de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.1487-1494, 2002.

SILVA, I.F. ; MIELNICZUK, J. Avaliação do estado de agregação do solo afetado pelo uso agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 21, p.13-319, 1997.

SILVA, J.E. Balanço de cálcio e magnésio e desenvolvimento do milho em solos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.15, p.329-333, 1980.

SILVA, M.L.N.; CURI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 2485-2492, 2000.

SILVEIRA, G. M. **O preparo do solo: Implementos corretos**. 2ed. São Paulo: globo, 1989. 243 p.

SINGER, M.; EWING, S. Soil quality In: SUMNER, M.E. **Handbook of soil Science**, Boca Raton, p. 271-298. 2000.

SIX, J. et al. Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.681-689, 2000.

SOUZA NETO, E.L.de; ANDRIOLI, I.; BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho em resposta a culturas de pré-safra. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.2, p.255-260, 2008.

SOUZA, Z.; LEITE, J.A.; BEUTLER, A.N. Comportamento de atributos físicos de um Latossolo Amarelo sob agroecossistemas do Amazonas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n. 3, 654-662. 2004.

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.395-401. 2001.

TEDESCO, M.J.; GIANELO, G.; BISSANI, C.A. ; BOHEN, H. e VOLKWEIS, S.I. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

TISDALL, J.M.; OADES, L.M. Organic matter and water-stable aggregates in soil. **Journal of Soil Science**, Oxford, v. 33, p.141-163, 1982.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p.573-581. 1998.

VAN GENUCHTEN, M.Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.44, p.892-897, 1980.

VIEIRA, M.J.; COGO, N.P.; CASSOL, E.A. Perdas por erosão em diferentes sistemas de preparo do solo para a cultura da soja (*Glycine max* (L) Merr.) em condições de chuva simulada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.2, p. 209-214, 1978.

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

VOOHRHEES, W.B.; LINDSTROM, M.J. Long term effects of tillage method on soil tillth independent of wheel traffic compaction. **Soil Science Society American Journal**, Madison, 48: 152-156, 1984.

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

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

YOODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soil and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal of the American Society of Agronomy**, Madison, v. 28, p. 337-351, 1936.

APÊNDICES

Apêndice 1. a) Leguminosas Lablab (*Dolichus lablab*) e Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*).

a)



b)



Apêndice 2. Croqui da área experimental .

Bloco I				Bloco II				Bloco III			
D AI				AI				D GR			
L	L	F	F					L	L	F	F
1	2	3	4	25	26	27	28	49	50	51	52
s	c	s	c	s	c	s	c	s	c	s	c
AI				D AI				GR			
				F	F	L	L				
5	6	7	8	29	30	31	32	53	54	55	56
s	c	c	s	s	c	s	c	s	c	c	s
DS				D DS				AI			
				L	L	F	F				
9	10	11	12	33	34	35	36	57	58	59	60
c	s	c	s	c	s	s	c	c	s	s	c
D DS				DS				D AI			
L	L	F	F					F	F	L	L
13	14	15	16	37	38	39	40	61	62	63	64
s	c	s	c	c	s	s	c	s	c	s	c
D GR				GR				D DS			
F	F	L	L					F	F	L	L
17	18	19	20	41	42	43	44	65	66	67	68
c	s	c	s	s	c	c	s	c	s	c	s
GR				D GR				DS			
				L	L	F	F				
21	22	23	24	45	46	47	48	69	70	71	72
s	c	s	c	c	s	c	s	s	c	s	c

Legenda:

L - Lablab (*Dolichus lablab*).F- Feijão de porco (*Canavalia ensiformes*).

s- sem nitrogênio.

c- com nitrogênio (120kg ha⁻¹ de uréia).

AI- arado de aiveca, D_AI Plantio direto após aiveca, D_DS plantio direto após disco, D_GR plantio direto após grade, DS- arado de disco, GR- grade pesada.

* numeração em negrito representam as subparcelas (6 x 7 m) avaliadas nas safras 07/08, 08/09 e 09/10.

Apêndice 3. Produção de matéria seca (M.S) das leguminosas
média dos tratamentos nas safras 07/08 e 08/09

safras	07/08	08/09
	M.S.(kg ha ⁻¹)	
feijão de porco	4097	5245
lablab	3880	4806