

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CAMPUS DE JABOTICABAL

**SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE FÍSICA EM
LATOSSOLO VERMELHO**

Karina de Vares Rossetti
Engenheira Agrônoma

JABOTICABAL – S.P –SÃO PAULO - BRASIL

Setembro de 2010

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE FÍSICA EM
LATOSSOLO VERMELHO**

Karina de Vares Rossetti

Orientador: Prof. Dr. José Frederico Centurion

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro de 2010

R829s Rossetti, Karina de Vares
Sistemas de manejo e qualidade física em Latossolo Vermelho /
Karina de Vares Rossetti – - Jaboticabal, 2010
xvii, 77 f. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010
Orientador: José Frederico Centurion
Banca examinadora: Zigomar Menezes de Souza, Laércio Alves
De Carvalho
Bibliografia

1. Qualidade física do solo. 2. índice S. 3. *Zea mays*. 4. *Glycine
max* I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU: 631.425

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

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

KARINA DE VARES ROSSETTI – Nasceu no dia 07 de junho do ano de 1984, em Santo André, SP. Coursou o ensino fundamental no Colégio Casabranquense, em Casa Branca, SP, no período de 1995 a 1998 e o ensino médio no Colégio São João, em São João da Boa Vista, SP, no período de 2000 a 2002. Em março de 2003, ingressou no curso de graduação em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- campus de Jaboticabal, SP, e em fevereiro de 2008, obteve o título de Engenheira Agrônoma. Em agosto de 2008, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia na mesma instituição, onde foi bolsista FAPESP. No dia 24 de setembro de 2010, submeteu-se à banca para a defesa da dissertação e obteve o título de Mestre em Agronomia, área de concentração Ciência do Solo.

“Não há conquistas fáceis. São as estradas sinuosas que levam ao caminho certo. O profissional, em qualquer ofício, alcançará o triunfo a partir de um espírito tenaz, forte e obstinado.”

Afonso Opazo

Ofereço

A DEUS e a Nossa Senhora, que sempre me iluminaram e deram força para cumprir mais essa etapa na minha vida;

À minha família e aos amigos que sempre me ampararam e incentivaram;

Dedico

Aos meus pais, Maria Lúcia de Vares Rossetti e Luiz Antônio Bertoncini Rossetti e ao meu irmão, Leonardo de Vares Rossetti, pelo carinho, apoio, ensinamentos e incentivos.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Frederico Centurion, pela oportunidade, incentivo, empenho pessoal e amizade, que contribuíram para o meu crescimento profissional;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo importante apoio financeiro na concessão da bolsa de estudos;

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias- FCAV, da Universidade Estadual Paulista-UNESP/ Jaboticabal, aos coordenadores do Curso de Pós Graduação em Ciência do Solo e ao Departamento de Solos e Adubos, que possibilitaram a realização desta pesquisa;

Aos professores que constituíram a minha banca de qualificação e defesa de dissertação Prof. Dr. Itamar Andrioli, Prof. Dr. José Carlos Barbosa, Prof. Dr. Zigomar Menezes de Souza e ao Prof. Dr. Laércio Alves de Carvalho pelas orientações e correções preciosas ao meu trabalho e amizade concedida;

Aos professores do Departamento de Solos e Adubos da FCAV, pelo conhecimento transmitido;

Aos funcionários do Departamento de Solos e Adubos da FCAV, que compartilharam suas experiências nos trabalhos de campo e de laboratório e no convívio diário;

Aos colegas de pós graduação e amigos, Adolfo, Alba, André, Cinara, Cristiano, Diego, Eurico, Fabiana Peixoto, Fabiana Pereira, Hélio, Juliana, Lívia, Paula, Sammy, Saulo, Sísara, Valdeci, pelo companheirismo, sugestões e pelos bons momentos que me proporcionaram fora da faculdade também;

Aos bolsistas de iniciação científica Jarbas e Rodrigo;

Aos funcionários da Fazenda de Ensino e Pesquisa da FCAV, que me auxiliaram nos trabalhos de campo, os quais foram essenciais para a realização deste trabalho;

Aos funcionários da seção de Pós Graduação e aos funcionários da Biblioteca da FCAV, pelo atendimento e auxílio;

Enfim, à todos, que direta ou indiretamente, contribuíram para a realização de mais essa etapa na minha vida.

MUITO OBRIGADA!!!

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
RESUMO	xv
SUMMARY	xvii
CAPÍTULO. 1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	04
2.1. Qualidade do solo.....	05
2.1.1. Densidade e Sistema poroso do solo.....	06
2.1.2. Matéria orgânica e Agregação do solo.....	07
2.1.3. Resistência do solo à penetração.....	08
2.1.4. Densidade relativa e Máxima compactação do solo.....	09
2.1.5. Condutividade hidráulica saturada.....	10
2.1.6. Curva de retenção de água no solo e Índice S.....	11
CAPÍTULO. 2. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
1. Descrições dos experimentos referentes aos anos agrícolas de 2008/09 (I) e 2009/10 (II).....	14
1.2. Determinações.....	17
1.2.1. Estabilidade de agregados, Matéria orgânica do solo, Índice de estratificação de carbono e Condutividade hidráulica.....	17
1.2.2. Densidade do solo, Porosidade total, Macroporosidade, Microporosidade e Densidade relativa.....	18
1.2.3. Curvas de retenção de água no solo, Resistência do solo à penetração, Índice S e Análise granulométrica do solo.....	19
1.2.4. Aspectos fitotécnicos das culturas da soja e do milho.....	21
1.3. Análise dos dados.....	21
2. RESULTADOS E DISCUSSÃO I.....	22
2.1. Análise granulométrica do solo.....	23
2.2. Estabilidade de agregados, Matéria orgânica e Sistema poroso do solo	25

2.3. Densidade relativa e Índice de estratificação de carbono.....	30
2.4. Condutividade hidráulica saturada, Curvas de retenção de água no solo e Índice S.....	35
2.5. Resistência do solo à penetração e Produtividade da cultura da soja...	39
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO II.....	42
3.1. Análise granulométrica do solo.....	43
3.2. Estabilidade de agregados, Matéria orgânica e Sistema poroso do solo	45
3.3. Densidade relativa e Índice de estratificação de carbono.....	50
3.4. Condutividade hidráulica saturada, Curvas de retenção de água no solo e Índice S.....	55
3.5. Resistência do solo à penetração e Produtividade da cultura do milho	59
4. CONCLUSÕES.....	62
CAPÍTULO 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura da soja (2008/09) em Jaboticabal. Fonte: depto. de Ciências Exatas (UNESP/FCAV).....	14
Figura 2. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura do milho (2009/10) em Jaboticabal. Fonte: depto. de Ciências Exatas (UNESP/FCAV).....	15
Figura 3. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0-0,10 m no cultivo da soja (2008/09).....	31
Figura 4. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,10-0,20 m no cultivo da soja (2008/09).....	32
Figura 5. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,20-0,30 m no cultivo da soja (2008/09).....	33
Figura 6. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho submetido na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 5 anos (SPD5), sistema plantio direto com 7 anos (SPD7), sistema plantio direto com 9 anos (SPD9) e sistema preparo convencional (SPC) até 0,15 m de profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (CV = 50,45%).....	36
Figura 7. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho em diferentes camadas. (a) 0-0,05m; (b) 0,05-0,10m; (c) 0,10-0,20m r (d) 0,20-0,30 m no cultivo da soja (2008/09).....	37
Figura 8. Índice S na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 5 anos (SPD5), sistema plantio direto com 7 anos (SPD7), sistema plantio direto com 9 anos (SPD9) e sistema preparo convencional (SPC), referentes às camadas de 0-0,05m; 0,05-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,30 m do Latossolo Vermelho.	

- Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV= 18,61% (parcela) e CV=13,06% (subparcela)..... 38
- Figura 9. Variação da resistência do Latossolo Vermelho à penetração em função do conteúdo de água no solo, em diferentes camadas e tipos de manejo durante o ciclo da cultura da soja (2008/09)..... 40
- Figura 10. Porcentagem do grau de floculação na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD10) e sistema preparo convencional (SPC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) CV= 17,40% (parcela) e CV= 13,37% (subparcela). 45
- Figura 11. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0-0,10 m no cultivo do milho (2009/10)..... 51
- Figura 12. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,10-0,20 m no cultivo do milho (2009/10)..... 52
- Figura 13. Densidade máxima (Dsmáx) e umidade gravimétrica crítica (Ugc) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,20-0,30 m no cultivo do milho (2009/10)..... 53
- Figura 14. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho submetido na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD10) e sistema preparo convencional (SPC) até 0,15 m de profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (CV = 30,50%)..... 56
- Figura 15. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho em diferentes camadas. (a) 0-0,05m; (b) 0,05-0,10m; (c) 0,10-0,20m e (d) 0,20-0,30 m no cultivo do milho (2009/10)..... 57
- Figura 16. Índice S na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD10) e sistema preparo convencional (SPC), referentes às camadas de 0-0,05m; 0,05-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,30 m do Latossolo Vermelho.

Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV= 19,75% (parcela) e CV=9,98% (subparcela).....	58
Figura 17. Variação da resistência do Latossolo Vermelho à penetração em função do conteúdo de água no solo, em diferentes camadas e tipos de manejo durante o ciclo da cultura do milho (2009/10).....	60

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização química do Latossolo Vermelho distrófico para o cultivo de soja (2008/09).....	16
Tabela 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho distrófico para o cultivo do milho (2009/10).....	16
Tabela 3. Análise granulométrica no ano agrícola de 2008/09.....	23
Tabela 4. Porcentagem de argila dispersa em água (ADA), grau de flocculação (GF) e conteúdo de matéria orgânica (MO) para o cultivo da soja (2008/09).....	24
Tabela 5. Valores médios do teor de matéria orgânica do Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas.....	26
Tabela 6. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho, submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas para o cultivo da soja (2008/09).....	28
Tabela 7. Índice de estratificação de carbono e teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho, nos diferentes sistemas de manejo e mata nativa no cultivo da soja (2008/09).....	30
Tabela 8. Resultados da análise de regressão quadrática da densidade do solo (Ds) em função da umidade gravimétrica de água (UG), para os diferentes tratamentos e camadas no cultivo da soja (2008/09).....	34
Tabela 9. Densidade relativa (Dsr) de um Latossolo Vermelho nos diferentes tratamentos no cultivo da soja (2008/09).....	35
Tabela 10. Altura de planta, altura de inserção da 1ª vagem, peso de 1000 grãos e produtividade média de plantas de soja nos diferentes tratamentos.....	39
Tabela 11. Regressão entre a umidade volumétrica de água (UV) e a resistência do Latossolo Vermelho à penetração (RP) nos diferentes tratamentos no cultivo da soja (2008/09).....	41
Tabela 12. Análise granulométrica no ano agrícola de 2009/10.....	43

Tabela 13. Valores médios do teor de matéria orgânica do Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas.....	46
Tabela 14. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho, submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas no cultivo do milho (2009/10).....	48
Tabela 15. Índice de estratificação de carbono e teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho nos diferentes sistemas de manejo e mata nativa no cultivo do milho (2009/10).....	50
Tabela 16. Resultados da análise de regressão quadrática da densidade do solo (Ds) em função da umidade gravimétrica de água (UG), para os diferentes tratamentos e camadas no cultivo do milho (2009/10).....	54
Tabela 17. Densidade relativa (Dsr) de um Latossolo Vermelho nos diferentes tratamentos no cultivo do milho (2009/10).....	55
Tabela 18. Regressão entre a umidade volumétrica de água (UV) e a resistência do Latossolo Vermelho à penetração (RP) nos diferentes tratamentos no cultivo do milho (2009/10).....	59
Tabela 19. Altura de planta, altura de inserção da 1ª espiga, diâmetro do colmo e produtividade média de plantas de milho nos diferentes tratamentos.....	61

SISTEMAS DE MANEJO E QUALIDADE FÍSICA EM LATOSSOLO VERMELHO

RESUMO- O manejo inadequado do solo tem causado degradação da qualidade física, com conseqüente redução de produtividade das culturas e aumento da erosão. Nesse sentido, este trabalho teve por objetivo analisar os efeitos de diferentes preparos na qualidade física de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso, em Jaboticabal, Estado de São Paulo. Para isso, foram avaliados dois anos agrícolas por meio do delineamento inteiramente casualizado e em parcelas subdivididas, com cinco tratamentos principais em cada safra, os quais em 2008/09 as áreas foram cultivadas com soja, onde foram avaliados: sistema plantio direto por 5 anos (SPD5), sistema plantio direto por 7 anos (SPD7), sistema plantio direto por 9 anos (SPD9), sistema de preparo convencional (SPC) e uma área adjacente de mata nativa (MN). Em 2009/10 as áreas foram cultivadas com milho, onde foram avaliados: sistema plantio direto por 6 anos (SPD6), sistema plantio direto por 8 anos (SPD8), sistema plantio direto por 10 anos (SPD10), sistema de preparo convencional (SPC) e uma área adjacente de mata nativa (MN). A qualidade física do solo foi avaliada por meio da estabilidade agregados, densidade do solo, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração, densidade relativa, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água e índice S e foram avaliados também a granulometria do solo, o índice de estratificação de carbono e as características agrônômicas de cada cultura nos quatro tratamentos secundários: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. Em relação ao ano agrícola de 2008/09 concluiu-se, que a qualidade física do solo sob preparo convencional de acordo com o índice S foi superior à do solo sob o sistema plantio direto e também, que o sistema plantio direto de 7 anos teve maior produtividade e mostrou diferença significativa com o sistema convencional. Em relação ao ano agrícola de 2009/10 concluiu-se, que o sistema de preparo convencional teve uma produtividade média inferior e diferiu estatisticamente apenas do sistema plantio direto de dez anos, porém não observou-se déficit hídrico e nem valores de resistência do solo à penetração foram impeditivos durante o ciclo da cultura; e também observou-se que o índice S mostrou variação em função dos sistemas de manejo e foi sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo.

Palavras-chave: qualidade física do solo, índice S, *Zea mays*, *Glycine max*

MANAGEMENT SYSTEMS AND QUALITY PHYSICS IN HAPLUSTOX

SUMMARY- Improper management of land has caused degradation of soil physical quality, with consequent reduction in crop productivity and increased soil erosion. In this sense, the aim of this work to analyze the effects of different preparations on the physical quality of an Typic Haplustox clay texture in Jaboticabal, São Paulo State. For this, we assessed two years in farming through the randomized design and split plot with five treatments in each main crop, with in 2008/09 the areas were planted with soybeans, which were evaluated: no-tillage system for 5 years (SPD5); no-tillage system for 7 years (SPD7); no-tillage system for 9 years (SPD9); conventional tillage (CT) and native forest (NF). In 2008/09 the areas were planted with corn, were evaluated: no-tillage system for 6 years (SPD6); no-tillage system for 8 years (SPD8); no-tillage system for 10 years (SPD10); conventional tillage (CT) and native forest (NF). The soil physical quality was evaluated through stability of aggregates, soil bulk density, total porosity, macroporosity, microporosity, resistance to the penetration, relative density, hydraulic conductivity and index S, and were also evaluated and soil particle size, the rate of carbon stratification and agronomic traits of each culture in the four secondary treatments: 0-0.05; 0.05-0.10; 0,10-0.20 and 0.20-0.30 m. Regarding the agricultural year 2008/09 it was concluded that the physical quality of soils under conventional tillage according to the index S was higher in soil under no tillage and also that the tillage of 7 years had higher productivity and a significant difference with the conventional system. Regarding the agricultural year 2009/10 it was concluded that the conventional tillage had a lower average productivity and differed statistically only tillage system ten years, but there was no water deficit nor values of resistance were impeding the penetration during the crop cycle; and also observed that index S showed variation in terms of management systems and was always higher that the limit considered for good soil physical quality.

Keywords: soil physical quality, index S, *Zea mays*, *Glycine max*

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

O preparo do solo normalmente incorpora os resíduos culturais e altera os atributos físicos da superfície e subsuperfície, favorecendo a erosão hídrica e a degradação física do solo, em relação aos campos nativos. Tais alterações são mais pronunciadas nos sistemas convencionais, as quais se manifestam, em geral, na densidade do solo, volume e distribuição de tamanho dos poros e estabilidade dos agregados do solo, influenciando a infiltração da água, erosão hídrica e desenvolvimento das plantas.

No sistema plantio direto (SPD), o menor revolvimento do solo na linha de semeadura, mantêm, parcial ou totalmente, os resíduos vegetais na superfície e aportam continuamente matéria orgânica ao solo, a qual é responsável pela manutenção e melhora dos atributos físicos do solo. A adoção de sistemas de manejo conservacionistas e a sucessão de culturas com adubos verdes são práticas que visam preservar a qualidade do solo e do ambiente, sem prescindir da obtenção de produtividade elevada e das culturas de interesse econômico.

Nos últimos anos, tem-se aumentado substancialmente o uso do SPD, sendo que atualmente mais de 12 milhões de hectares já são cultivados com este sistema e cerca de três milhões de hectares ocupado com a cultura do milho; e nas regiões onde se cultiva a soja e o milho, o SPD se beneficia desta rotação que é benéfica para ambas as culturas, o mesmo ocorrendo para o plantio do milho “safrinha” plantado após a soja precoce. Entretanto o SPD pode provocar certa compactação superficial do solo, que está associada ao tráfego de máquinas agrícolas e ao não revolvimento do solo neste sistema.

Dessa forma, os estudos sobre qualidade física do solo são atualmente indispensáveis, pois permitem avaliar os atributos físicos do solo juntamente com as interações da disponibilidade de água, aeração, temperatura entre outros que influenciam a capacidade do solo em proporcionar condições adequadas ao desenvolvimento das plantas.

Alterações climáticas e desmatamentos constantes têm impulsionado a humanidade para uma maior reflexão sobre a prática de agricultura sustentável. O sistema de plantio direto tem por objetivo contribuir para um equilíbrio ambiental e sócio-econômico e sendo assim o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a influência do preparo na qualidade física de um Latossolo Vermelho, utilizando indicadores, tais como: por meio da estabilidade agregados, densidade do solo, porosidade total,

macroporosidade, microporosidade, resistência do solo à penetração, densidade relativa, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água e índice S.

2.REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Qualidade do solo

O conceito de qualidade do solo (QS), reformulada por DORAN (1997) e sendo utilizado nos dias atuais é: “Qualidade do solo é a capacidade de um solo funcionar dentro dos limites de um ecossistema natural ou manejado, para sustentar a produtividade de plantas e animais, manter ou aumentar a qualidade do ar e da água e promover a saúde das plantas, dos animais e dos homens.” Segundo CARTER (2001) a QS está relacionada com as funções que capacitam o solo a aceitar, estocar e reciclar água, nutrientes e energia.

A sustentabilidade agrícola que consiste na produção de alimentos em um solo capaz de cumprir suas funções, está diretamente relacionada com a manutenção da qualidade do solo em referência no ecossistema e a interação desse ao longo do tempo (MELLO et al., 2006).

Nas condições brasileiras, surgem propostas de indicadores físicos (FIDALSKI & TORMENA, 2007), químicos e biológicos (RIBEIRO et al., 2007) e a integração destes (ARAÚJO et al., 2007). Assim, sabendo-se que o cultivo inadequado do solo altera os atributos físicos em relação ao solo não cultivado surge a necessidade de quantificar e qualificar as condições estruturais do solo, para dessa forma obter informações sobre a eficácia do manejo do solo e as suas influências na produtividade da cultura agrícola.

Dessa forma, há várias propostas de indicadores físicos tais como: densidade do solo (DE MARIA et al., 1999; STONE & SILVEIRA, 2001), porosidade do solo (SECCO et al., 2005; COSTA et al., 2006), resistência do solo à penetração das raízes (DE MARIA et al., 1999; IMHOFF et al., 2000; BEUTLER & CENTURION, 2004), condutividade hidráulica saturada (MESQUITA & MORAES, 2004), agregação do solo (SILVA et al., 2000a; WENDLING et al., 2005), densidade relativa do solo (KLEIN, 2006) e o índice de estratificação de carbono orgânico do solo é também um indicador de qualidade física do solo de baixo custo e de alta praticidade, que consiste no quociente dos valores de carbono orgânico da camada de 0-0,05 m com aqueles da camada de 0,10-0,15 m de profundidade. (FRANZLUEBBERS, 2002).

A avaliação da qualidade do solo não é uma ideia nova, porém ainda há poucos estudos, sendo que esses são importantes nas avaliações da extensão da degradação ou melhoria do solo e para identificar os manejos sustentáveis do solo.

2.1. 1. Densidade e Sistema poroso do solo

O espaço poroso é uma consequência de como as partículas primárias estão arranjadas e, a densidade do solo reflete bem as condições estruturais do mesmo. Sendo que esse último é um atributo que varia com o tempo, ou seja, por processos naturais de adensamento e/ou práticas de manejo como cultivo, trânsito de máquinas agrícolas, incorporação de matéria orgânica etc.

De acordo com KIEHL (1979), as amplitudes de variação da densidade solo situam-se entre limites médios, a saber: solos argilosos (1,00 a 1,25 g cm⁻³) e arenosos (1,25 a 1,40 g cm⁻³). Pode-se afirmar que quanto mais elevada for a densidade de solo da mesma classe textural, mais compacto será o solo, menor será o grau de estruturação, menor porosidade e, conseqüentemente, maiores as restrições para o crescimento das plantas.

Em condições naturais os solos argilosos, possuem boa macroporosidade, em torno de 15 a 25%, porém, em condições de cultivo, a macroporosidade pode diminuir drasticamente. De modo geral, considerando que as raízes da maioria das culturas podem se desenvolver com macroporosidade acima de 10% (KLEIN & LIBARDI, 2002) e que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal seria aquele que apresentasse uma proporção de macro-microporos da ordem de 1/2, garantindo assim suficiente aeração, permeabilidade e armazenamento de água.

As pressões exercidas pelas máquinas e implementos podem causar um rearranjo dos componentes sólidos do solo, desestruturando e compactando-o, diminuindo sua porosidade. Deste modo, verifica-se, com o tempo, maior densidade do solo sob manejos agrícolas em relação ao encontrado em condições naturais (ARAUJO et al., 2004). Nessa condição estrutural, a macroporosidade do solo é a mais facilmente afetada pelo manejo, pois os agregados grandes, que compõem poros maiores, são destruídos mais facilmente que agregados menores (BARBER et al., 1996).

2.1.2. Matéria orgânica e Agregação do solo

A estrutura do solo refere-se ao arranjo das partículas de solo em agregados que é função da natureza e origem do material originário, do clima dos microorganismos, do solo e da vegetação existente ao longo do ano (LETEY, 1985).

A agregação do solo pode sofrer alterações permanentes ou temporárias, demonstrando variação cíclica provocadas por práticas de manejo de solo e culturas. Essas alterações dependem da estabilidade dos agregados que pode ser resultado da ação de união mecânica por células e hifas dos organismos, dos efeitos cimentantes dos produtos derivados da síntese microbiana ou da ação estabilizadora dos produtos de decomposição que agem individualmente ou em combinação (BAVER et al., 1973).

Em solos que apresentam características naturais favoráveis ao cultivo, BERTOL et al. (2004) afirmam que o preparo convencional degrada os atributos físicos, pois o revolvimento rompe os agregados, compacta o solo abaixo da camada preparada e o deixa descoberto. O plantio direto, em virtude da pequena mobilização do solo, preserva os agregados e a cobertura do solo, porém, consolida a camada superficial.

Experimentos de longa duração constituem ferramenta valiosa para o estudo da dinâmica da matéria orgânica no solo. Assim, LOVATO et al. (2004) constataram que em dezesseis anos de cultivo, do sistema de plantio direto, ocorreu a diminuição da taxa de perda de matéria orgânica, e os sistemas de culturas com leguminosas, pela alta taxa de carbono fotossintetizado e de nitrogênio fixado simbioticamente, são boas alternativas para recuperar os estoques de carbono orgânico total e nitrogênio total do solo. D'ANDREA et al. (2004) também afirmam que a pastagem e o plantio direto, desde que com esquema diversificado de rotação de culturas, são promissores para aumentar os estoques de carbono orgânico no solo. ZALAMENA et al. (2007) verificaram resultados semelhantes com a utilização do sistema de plantio direto durante nove anos, o qual proporcionou ao solo teores de matéria orgânica e qualidade de agregados semelhantes ao sistema original de mata nativa principalmente na camada de 0-0,10 m.

Avaliando aspectos da física de um solo, CORREA (2002) afirma que ocorrem modificações na estrutura e no teor de matéria orgânica do solo causada pelos diferentes sistemas de cultivo, a partir do preparo da área para o primeiro plantio. Os maiores fracionamentos de agregados ocorrem nas áreas preparadas com grade

aradora e grade niveladora para o monocultivo de soja. O plantio direto da soja, por dois anos consecutivos, proporcionou maior estabilidade dos agregados.

Pesquisando formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema do cerrado, ROSA et al. (2003) verificaram que o plantio direto não é capaz de manter os níveis de carbono nos agregados, quando comparado ao solo sob floresta nativa e também constataram que a matéria orgânica desempenha papel relevante na formação e estabilização de agregados maiores que 0,25 mm; a porosidade do solo, a resistência do solo à penetração e a densidade do solo demonstram que há aumento da compactação do solo no sistema plantio direto, quando comparado ao solo sob floresta nativa.

Tendo como testemunha a floresta nativa, SILVA et al. (2000) observaram que na camada superficial, o sistema plantio direto com dezessete anos de condução propicia agregados maiores e mais resistentes ao impacto das gotas de chuva, e os valores do diâmetro médio geométrico e a energia cinética necessária para destruir agregados foram maiores do que no cultivo convencional.

A estruturação do solo é um bom indicador da qualidade do solo, portanto, é importante determinar a quantidade de agregados que tem um solo, como eles estão distribuídos por classes e qual a resistência desses agregados.

2.1.3. Resistência do solo à penetração

A resistência do solo à penetração (RP) tem sido largamente utilizada como indicadora da compactação e de qualidade física do solo, por estar relacionada a importantes atributos do solo e das plantas (REICHERT et al., 2007) e por ser uma medida fácil e rápida de determinação (TORMENA & ROLOFF, 1996).

Na literatura há relações da RP com densidade (FIDALSKI & TORMENA, 2007), macroporosidade (SECCO et al., 2004), teor de água no solo (CUNHA et al., 2002), condutividade hidráulica (STONE et al., 2002).

Segundo CARVALHO et al. (2006) a resistência mecânica do solo à penetração exerce grande influência sobre o desenvolvimento vegetal, uma vez que o crescimento das raízes, tal como a produtividade das culturas, variam de forma inversamente proporcional ao seu valor. Dessa forma a partir dos resultados de TORMENA et al.

(2004), verificam-se que, no plantio direto, os valores de RP são maiores do que no plantio com uso de escarificador, independentemente do teor de água no solo, podendo atingir valores críticos ao crescimento das plantas. Assim, estratégias de manejo para conservar o teor de água no solo são necessárias para manter a RP abaixo de valores impeditivos às plantas.

O valor de RP igual a 2 MPa tem sido freqüentemente utilizado como crítico (TAYLOR et al., 1966). Os valores críticos devem ser ajustados, levando em consideração a condição física do solo e a cultura em estudo. No entanto, há resultados que mostram que esse valor é variável.

Dessa forma, TORMENA et al. (2004), quantificando algumas propriedades físicas em um Latossolo Vermelho eutroférico, verificaram que valores de resistência do solo à penetração dessa ordem não foram restritivos à cultura da soja. Segundo BEUTLER et al. (2006), o valor de resistência do solo à penetração a partir do qual ocorreram reduções de produtividade, variou entre as cultivares de soja de 2,24 a 2,97 MPa, para um Latossolo Vermelho textura média.

Contudo, FOLONI et al. (2003) afirmam que o sistema radicular das plantas de milho não é capaz de romper uma camada compactada de solo se esse apresentar resistência do solo à penetração de 1,40 MPa. Além disso, ROSOLEM et al. (1999) constataram que a resistência do solo à penetração de 1,30 MPa reduz o crescimento das raízes seminais do milho à metade. Porém, FREDDI et al. (2006) observaram que valores variando de 0,90 a 2,00 MPa não diminuíram a produtividade do milho. Ainda FREDDI et al. (2007) verificaram valores de resistência à penetração variando entre 1,03 e 5,69 MPa provocaram alterações na morfologia do sistema radicular do milho, reduzindo a produtividade da cultura em 2,58 Mg ha⁻¹. Porém, não foram impeditivos ao seu enraizamento.

2.1.4. Densidade relativa e Máxima de compactação do solo

A avaliação da densidade relativa do solo (D_{sr}) consiste na relação entre a densidade máxima do solo ($D_{smáx}$) obtida pelo teste de Proctor normal (CARTER, 1990). Essa relação tem se mostrado benéfica na caracterização da compactação e

resposta das culturas em diferentes tipos de solo (SILVA et al., 1997; BEUTLER et al., 2005).

O estudo da Dsr surgiu da necessidade de se encontrar um indicador para caracterizar o estado de compactação que fosse simples para ser usado em experimentos de campo e capaz de formar ligação entre estudos de resposta do solo ao tráfego de máquinas e estudos de resposta das culturas à compactação. No Brasil, de acordo com BEUTLER et al. (2005), a Dsr ótima para a produtividade de soja no campo em Latossolo Vermelho distrófico decresceu a partir da Dsr de 0,80 e segundo REICHERT et al. (2007) analisando um grupo de dados de densidade do solo crítico, constataram-se que a Dsr na qual o sistema radicular das plantas teve o seu crescimento afetado situou-se entre 0,90 e 0,95.

Avaliando a curva de compactação em um Latossolo Vermelho e em um Latossolo Vermelho-Amarelo, ambos de textura argilosa, DIAS JÚNIOR & ESTANISLAU (1999) verificaram que os valores de $D_{sm\acute{a}x}$ decresceram do solo sob pastagem para o solo sob culturas anuais e sob mata nativa (1,93; 1,92 e 1,83 $Mg\ dm^{-3}$, respectivamente). A $D_{sm\acute{a}x}$ de um Latossolo Vermelho de textura média (323 $g\ kg^{-1}$ de argila) foi de 1,85 $Mg\ m^{-3}$ e a de um Latossolo Vermelho argiloso (572 $g\ kg^{-1}$ de argila) foi de 1,61 $Mg\ m^{-3}$ (FREDDI (2007).

Segundo BRAIDA et al. (2006) em um Argissolo Vermelho Amarelo de textura franco-arenosa (1,87 $Mg\ m^{-3}$) a $D_{sm\acute{a}x}$ teve maiores valores em comparação ao Nitossolo Vermelho argiloso (1,40 $Mg\ m^{-3}$), em estudo realizado com solos com ampla variação de carbono orgânico e para um mesmo nível de energia, pois a argila apresenta maior CTC e área superficial específica (ASE) que a areia, dessa foram a argila interage mais com a água, diminui o seu efeito lubrificante entre as partículas minerais e também a susceptibilidade à compactação do solo.

2.1.5. Condutividade hidráulica saturada

Segundo REICHARDT (1996) a condutividade hidráulica depende do espaço poroso, varia enormemente de solo para solo e mesmo dentro da mesma classe de solo, com variações estruturais, compactação etc. Tal variação pode ser causada por uma carga externa podendo mudar a estrutura do solo (compactação) e por efeito da

expansividade das argilas ou adensamento das camadas do solo provocada pelas partículas mais finas conduzidas pelo movimento da água (BEAR, 1979).

Conforme JURY et al. (1991) o coeficiente de variação para a condutividade hidráulica em solo saturado pode variar de 48% a 320%. Estudos de ABREU et al. (2003) verificaram que a condutividade hidráulica no solo saturado, determinada em campo com a utilização do permeâmetro de Guelph a 0,15 m de profundidade foi de 62,7%.

Em geral, quando se prepara o solo, a capacidade de infiltração tende a aumentar, em razão da quebra da estrutura da camada superficial. No entanto, se as condições de preparo e manejo forem inadequadas, sua capacidade de infiltração poderá tornar-se inferior à de um solo sem preparo, principalmente se a cobertura vegetal for removida (PRUSKI et al., 1997).

MACHADO et al. (1981) demonstraram o grande efeito do manejo do solo sobre a taxa de infiltração da água no solo em comparação com a condição natural do solo da mata e campo virgem; e observaram que em alguns casos houve maior infiltração no plantio direto do que em sistema convencional de preparo. Isso pode ocorrer por causa da grande variação da quantidade e qualidade dos restos culturais sobre a superfície do solo e da variação do volume de macroporos que ocorre nos diferentes sistemas de exploração agrícola dentro do plantio direto.

2.1.6. Curva de retenção de água no solo e Índice S

A determinação da curva de retenção de água no solo representa o teor de água no solo (θ) em diferentes tensões e assim é fundamental nos estudos de movimento de água no solo. Pode ser obtida com o uso da câmara de pressão (RICHARDS, 1965) em laboratório, por meio do levantamento de alguns números de pontos com os quais é traçada uma curva para representar as características de retenção de água no solo.

O índice S introduzido no Brasil com bases nos trabalhos de DEXTER (2004 a,b,c), calculado a partir da curva de retenção de água, é um parâmetro usado para quantificar a qualidade física do solo, apresentando grande sensibilidade em perceber alterações devido ao manejo do solo para o desenvolvimento das plantas.

EM Latossolo Vermelho distroférico cultivado com milho TORMENA et al. (2008) constataram que o índice S diferenciou nos sistemas de preparo e nas posições de amostragem, sendo $SPD < SPC$ independente das posições de amostragem linha e entrelinha. O valor de S diminuiu com o aumento da densidade do solo, indicando a redução de sua qualidade física, associada à compactação do mesmo.

Segundo DEXTER (2004 a), o limite entre solos com boa e pobre qualidade estrutural ocorre no valor aproximado de $S = 0,035$, porém esse valor pesquisado não refere-se a solos tropicais. Assim, ANDRADE & STONE (2009), realizaram um estudo com o Índice S que abrangeram solos sob cerrado das regiões centro-oeste, norte e nordeste do Brasil e verificaram que o valor limite de $S = 0,045$ mostrou-se adequado à divisão entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendências a se tornar degradado, enquanto valores de $S \leq 0,025$ indicam solos inteiramente degradados fisicamente.

CAPÍTULO 2. MATERIAL E MÉTODOS

1. Descrições dos experimentos referentes aos anos agrícolas de 2008/09 (I) e 2009/10 (II)

Foram conduzidos dois anos de experimentos, em 2008/09 e 2009/10 no município de Jaboticabal no Estado de São Paulo. Porém os resultados foram analisados separadamente, ou seja, para cada ano agrícola.

O experimento foi realizado no município de Jaboticabal, nordeste do Estado de São Paulo (21°14'53" S, 48°17'20" W e 560 m de altitude). O clima da região, de acordo com a classificação de Köppen, é do tipo Cwa, caracterizado por verão quente e inverno seco, com precipitação média anual de 1.428 mm e temperatura média de 21 °C. O solo da área experimental foi classificado de acordo com ANDRIOLI & CENTURION (1999) e atualizado segundo EMBRAPA (2006) como um Latossolo Vermelho distrófico típico, argiloso, A moderado, caulínítico, hipoférrico, muito profundo e com relevo plano a suave ondulado.

As Figuras 1 e 2 representam a precipitação e temperatura média durante o período de desenvolvimento da cultura da soja na safra de 2008/09 e da cultura do milho na safra de 2009/10 em Jaboticabal (SP), respectivamente.

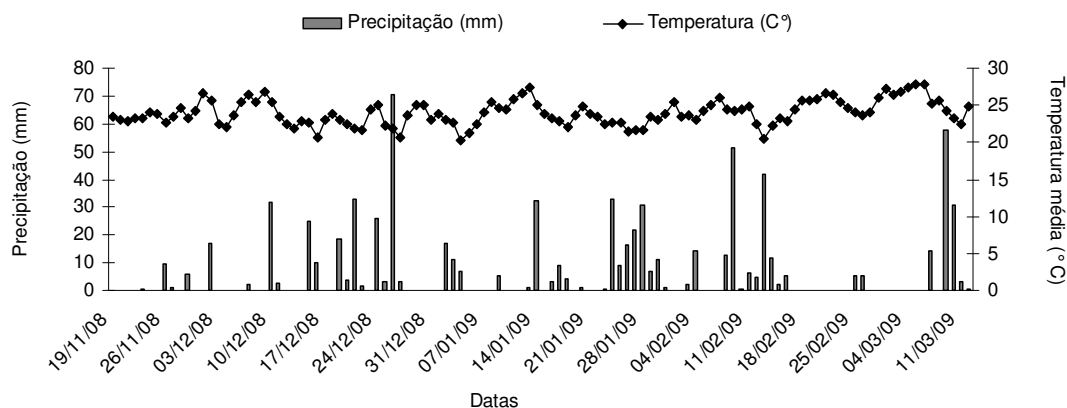


Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura da soja (2008/09) em Jaboticabal. Fonte: depto. de Ciências Exatas (UNESP/FCAV).

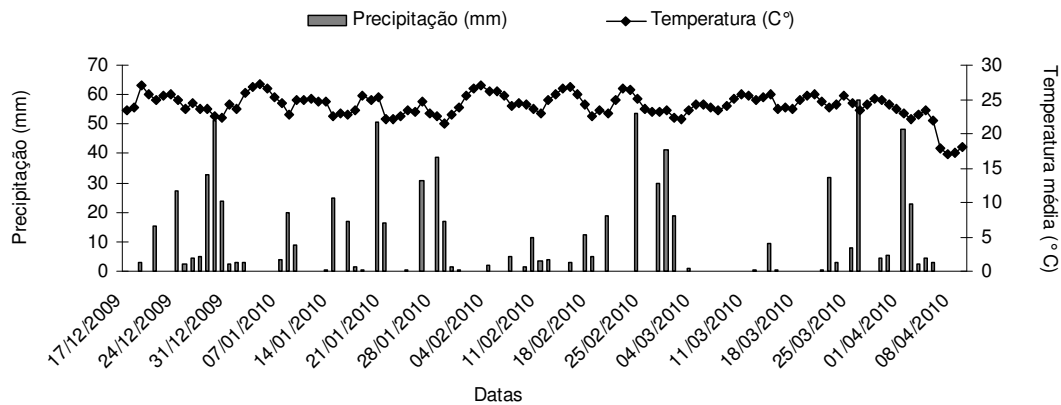


Figura 2. Precipitação acumulada e temperatura média semanal durante o período de desenvolvimento da cultura do milho (2009/10) em Jaboticabal. Fonte: depto. de Ciências Exatas (UNESP/FCAV).

Antes da instalação do experimento, o solo vinha sendo cultivado no sistema de preparo convencional por 30 anos, com a sucessão anual de milho e soja, no verão, e safrinha de milho. Iniciou-se a implantação do sistema de plantio direto a partir dos anos de 2000, 2002 e 2004, para o sistema de plantio direto de nove anos (SPD9), sistema plantio direto de sete anos (SPD7) e sistema plantio direto de cinco anos (SPD5), respectivamente. No ano agrícola 2008/09 quatro partes da área, com 60 m² cada, foram destinadas ao sistema de preparo convencional (SPC) e as demais áreas dos sistemas de manejo foram demarcadas também com 60 m² cada. O SPC foi constituído de uma escarificação do solo, até 0,30 m de profundidade, seguida de uma gradagem pesada e uma gradagem leve. Em 19 de novembro de 2008, foi realizada a semeadura da soja, cultivar M-SOY 6101, através da semeadora-adubadora de precisão da marca Marchesan, modelo Cop Suprema equipada com 7 linhas espaçadas de 0,45 m, largura útil de 3,15 m, com profundidade média de semeadura de 0,03 m. O solo foi analisado quimicamente (Tabela 1) segundo RAIJ et al. (1987), e adubado nas parcelas com 250 kg ha⁻¹ da formulação N-P-K 2-20-20, para o sistema plantio direto foi utilizado o sulcador de adubo tipo haste (facão) e, para o sistema de preparo convencional, discos duplos defasados.

Tabela 1. Caracterização química do Latossolo Vermelho distrófico para o cultivo de soja (2008/09)

Camada (m)	pH	P	Complexo sortivo			SB	CTC	V
			K	Ca	Mg			
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%
0-0,20	5,5	40	2,4	28	17	46	71,2	64

Em 16 de dezembro de 2009, foi realizada a semeadura do milho, híbrido Impacto da empresa Syngenta, através da semeadora-adubadora de precisão da marca Marchesan, modelo Cop Suprema equipada com 7 linhas espaçadas de 0,90 m, largura útil de 6,30 m, com profundidade média de semeadura de 0,03 m. O solo foi analisado quimicamente (Tabela 2) segundo Raij et al. (1987), e foi realizada a adubação de semeadura nas parcelas com 0,300 Mg ha⁻¹ da formulação N-P-K 8-20-20 para obtenção da produtividade esperada de 7 a 9 Mg ha⁻¹, segundo RAIJ et al. (1997) e a adubação de cobertura foi realizada no estágio V6 da cultura com 0,250 Mg ha⁻¹ da formulação N-P-K 20-0-10 em superfície ao lado da linha de plantio. Para o sistema plantio direto foi utilizado o sulcador de adubo tipo haste (facão) e, para o sistema de preparo convencional, discos duplos defasados.

Tabela 2. Caracterização química do Latossolo Vermelho distrófico para o cultivo do milho (2009/10)

Camada (m)	pH	P	Complexo sortivo			SB	CTC	V
			K	Ca	Mg			
	CaCl ₂	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					%
0-0,20	5,2	39	1,1	24	12	37	66	56

Utilizou-se um trator Valtra BH 140, para tracionar a semeadora-adubadora. Os cinco tratamentos para o ano agrícola de 2008/09 foram: sistema plantio direto de 5 anos (SPD5), sistema plantio direto de 7 anos (SPD7), sistema plantio direto de 9 anos (SPD9), sistema de preparo convencional (SPC) (1 ano) e uma área adjacente de mata nativa (MN) e para o ano agrícola de 2009/10 foram: sistema plantio direto de 6 anos (SPD6), sistema plantio direto de 8 anos (SPD8), sistema plantio direto de 10 anos (SPD10), sistema de preparo convencional (SPC) e uma área adjacente de mata nativa

(MN). O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado e em parcelas subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas pelos tratamentos e as subparcelas pelas seguintes camadas de solo amostradas: 0-0,05; 0,05-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m.

1.2 Determinações

As amostras deformadas e indeformadas de solo foram retiradas em 7 de janeiro de 2009 durante o florescimento e na entrelinha da cultura da soja, referente ao ano agrícola de 2008/09 e foram retiradas em onze de março de 2010 na entrelinha da cultura do milho, referente ao ano agrícola 2009/10.

1.2.1. Estabilidade de agregados, Matéria orgânica do solo, Índice de estratificação de carbono e Condutividade hidráulica

As amostras deformadas de solo foram retiradas com auxílio de um enxadão e depois foram secas ao ar, cuidadosamente destorroadas, tamisadas em peneiras de 7,93 mm e dos agregados retidos na peneira de 4 mm foram pesados 50 g, os quais foram pré-umedecidos, conforme o princípio de umedecimento lento descrito por KEMPER & CHEPIL (1965). Em seguida, as amostras foram colocadas 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 abertura de malha, conforme descrito por YOODER (1936). Transcorridos 15 minutos, as porções retidas em cada peneira foram transferidas para latas de alumínio com o auxílio de jatos de água, e secas em estufa à 105 °C, por 24 horas, para posterior pesagem. A partir dos valores dessas massas, foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) e o diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP), conforme KEMPER & CHEPIL (1965).

Em todas as camadas também foram retiradas amostras para a análise química visando à determinação da matéria orgânica do solo, segundo metodologia citada por RAIJ et al. (1987). O índice de estratificação de carbono orgânico do solo foi calculada

pelo quociente dos teores de carbono orgânico do solo da camada de 0-0,05 m e 0,10-0,15 m de profundidade conforme FRANZLUEBBERS (2002).

A condutividade hidráulica saturada do solo nos sistemas de manejo, foram medidas, com quatro repetições, por meio de um permeâmetro tipo Guelph, composto de uma garrafa de Mariotte que controla a carga constante de água dentro do furo, um tubo de acrílico com uma régua graduada onde a água é introduzida e um tripé que permite adaptar o aparelho a terrenos irregulares, foi instalado a 0,15 m de profundidade e submetido a duas cargas hidráulicas (0,03 e 0,06 m de coluna de água). Foram realizadas leituras através do nível da coluna de água presente no aparelho. A partir do momento da estabilização dessas leituras, utilizou-se a média das três últimas e calculou-se a condutividade hidráulica saturada (K_{sat}) conforme a seguinte expressão:

$$K_{sat} = \{[(0,041)(32,39)(X_1)]\} - \{[(0,0054)(35,39)(X_2)]\} f_c \quad (2)$$

em que,

X_1 - representou a média das três últimas leituras com carga hidráulica de 0,06 m de coluna de água, em cm s^{-1} ;

X_2 - representou a média das três últimas leituras com carga hidráulica de 0,03 m de coluna de água, em cm s^{-1} ;

f_c - representou o fator de conversão para mm h^{-1} (36000).

1.2.2. Densidade do solo, Porosidade total, Macroporosidade, Microporosidade e Densidade relativa

Para a determinação dos atributos físicos do solo, foram coletadas amostras com estrutura indeformada, em quatro pontos aleatórios para cada sistema de manejo, utilizando cilindros de $53,16 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$, no ponto das quatro camadas. Após a retirada dos cilindros, estes foram limpos por fora, tampados e vedados com gaze e elástico e levados ao laboratório. Foram determinadas a densidade do solo (BLAKE & HARTGE, 1986), a microporosidade, por secagem (tensão de 0,006 MPa) em câmaras de pressão de Richards com placa porosa (KLUTE, 1986), a porosidade total segundo DANIELSON & SUTHERLAND (1986) e, a macroporosidade obtida por diferença entre a porosidade total e a microporosidade.

Para o ensaio de Proctor normal foram coletadas amostras deformadas nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m e foram passadas em peneira de 4,0 mm, com reutilização de material (NOGUEIRA, 1998). A determinação da densidade máxima de compactação ($D_{smáx}$) consistiu da adição de água à amostra, homogeneização, adição de solo até 1/3 do cilindro de 1000 cm^{-3} que foi submetido a 25 golpes de um soquete de 2,5 kg caindo à altura de 30,5 cm, equivalente a uma pressão de 200 kPa. Em seguida, adicionou-se mais uma camada até atingir 2/3 e depois outra até atingir a superfície do cilindro, procedendo da mesma forma para compactação. Nos pontos seguintes, adicionou-se mais água até que se verificou ter a densidade do solo diminuído e dessa forma obteve-se a $D_{smáx}$ e a umidade gravimétrica crítica de compactação (U_{gc}). Objetivou-se obter o ponto de máxima D_s e pelo menos dois pontos acima e dois abaixo, para um melhor ajuste do modelo estatístico. Assim para cada amostra, obtiveram-se sete pares de valores de umidade (U_g) e a $D_{smáx}$, com os quais se ajustou o seguinte modelo matemático:

$$D_s = aU_g^2 + bU_g + c \quad (1)$$

Em que D_s é a densidade do solo (Mg m^{-3}), U_g é a umidade do solo (kg kg^{-1}) e a , b e c são os parâmetros da equação.

A densidade relativa do solo (D_{sr}) foi obtida pela divisão da densidade do solo pela densidade máxima do solo ($D_{smáx}$) obtida no teste de Proctor normal.

1.2.3. Curvas de retenção de água no solo, Resistência do solo à penetração, Índice S e Análise granulométrica

As amostras indeformadas retiradas em cada camada foram colocadas em uma bandeja e saturadas durante 24 horas. Após este período, deixou-as escoar o excesso de água para posterior pesagem. Em seguida as amostras 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), sendo determinado o conteúdo de água retida em cada tensão e também quando atingiram o equilíbrio nas tensões 0,001;

0,006; 0,01; 0,033; 0,06 e 0,1 MPa, foram pesadas determinando-se a resistência do solo à penetração (RP) com duas repetições por amostra, na camada de 0-0,05 e 0,10-0,20 m, perfazendo 100 leituras por repetição que serão utilizadas para obtenção da RP média. A resistência do solo à penetração foi determinada com o penetrômetro eletrônico estático com velocidade constante de penetração de $0,01 \text{ m min}^{-1}$, cone com ângulo de 60° e com área da base de $2,96 \times 10^{-6} \text{ m}^2$, equipado com atuador linear e célula de carga de 20 kg acoplada a um microcomputador para a aquisição dos dados, conforme descrito por TORMENA et al. (1998).

Após pesagem na última tensão, retirou-se a gaze e o elástico para pesagem e composição da tara total para os cálculos de umidade. As amostras de solo foram secas em estufa a 105°C até atingir peso seco constante, o qual foi utilizado nos cálculos de densidade do solo e do teor de água no solo nos diferentes pontos da curva característica. As curvas de retenção de água no solo em cada camada e manejo, foram obtidas por meio do modelo proposto por GENUTCHEN (1980), a partir do qual foi obtida a inclinação da curva no ponto de inflexão e, conseqüentemente o índice S (DEXTER, 2004), por meio da equação:

$$S = -n(\theta_{sat} - \theta_{res}) \left[1 + \frac{1}{m} \right]^{-(1+m)} \quad (1)$$

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

Na mesma ocasião em que se coletaram as amostras indeformadas com anéis volumétricos, fez-se a coleta de amostras deformadas com trado holandês para análise granulométrica por meio da dispersão com NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) e agitação lenta durante 16 horas, sendo o conteúdo de argila obtido pelo método da pipeta (GEE & BAUDER, 1986).

1.2.4. Aspectos fitotécnicos das culturas da soja e do milho

Em onze de março de 2009, no estádio R8 da cultura da soja (maturação plena), foram coletadas 6 linhas de um metro linear em cada parcela, que foram levadas ao laboratório para as avaliações de: altura de planta, medindo-se a distância entre o solo e o ápice da haste principal; altura de inserção da primeira vagem: medindo-se a distância entre o colo da planta e a inserção da primeira vagem.

Em oito de abril de 2010, no estádio R6 da cultura do milho (maturidade fisiológica) foram coletadas 6 linhas de um metro linear em cada parcela, que foram levadas ao laboratório para as avaliações de: altura de planta, medindo-se a distância entre o solo e o ápice da haste principal; diâmetro do colmo; altura de inserção da primeira espiga: medindo-se a distância entre o colmo da planta e a inserção da primeira espiga.

Para a avaliação da produtividade de grãos, foram coletadas as plantas contidas na área útil de cada parcela (6 linhas de soja e de milho com 1 m cada de comprimento). Estas plantas, após secagem ao sol, foram trilhadas mecanicamente, os grãos pesados e os dados transformados em kg ha^{-1} (13% de umidade em base úmida). A umidade foi determinada por meio do método da estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$ por 24h).

1.3. Análise dos dados

Os resultados obtidos foram analisados pelo programa estatístico Estat, sendo submetidos à análise de variância e quando esta indicou diferença, entre médias, utilizou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) (BANZATTO & KRONKA, 1992).

2. RESULTADOS E DISCUSSÃO I

2.1 Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica, foi realizada a fim de verificar a existência de possíveis efeitos dos diferentes manejos na distribuição de partículas primárias do solo e sendo assim, verificou-se que ocorreu um aumento no teor de argila em profundidade nos tratamentos de SPD7 e SPD9 (Tabela 3).

Tabela 3. Análise granulométrica no ano agrícola de 2008/09

camadas	areia grossa	areia fina	silte	Argila
m	-----%-----			
<i>MN</i>				
0-0,05	33 ABa	26 Bb	5 Cc	36 Aa
0,05-0,10	28 Db	30 Aa	7 Bb	35 Ba
0,10-0,20	29 Bb	30 Ba	12 Aa	29 Cb
0,20-0,30	25 Cc	28 Ca	11 Aa	36 Ba
<i>SPD5</i>				
0-0,05	32 BCb	30 Aa	5 Cb	33 Ba
0,05-0,10	33 Ba	30 Aa	6 Ca	31 Ca
0,10-0,20	32 Ab	30 Ba	7 Ca	31 Ba
0,20-0,30	31 Ab	31 ABa	6 Ca	32 Bab
<i>SPD7</i>				
0-0,05	34 Ab	33 Aa	4 Cb	29 Cab
0,05-0,10	36 Aa	31 Aa	5 Da	28 Cb
0,10-0,20	32 Ac	33 Aa	5 Da	30 BCab
0,20-0,30	33 Ac	31 Aa	5 Da	31 Ba
<i>SPD9</i>				
0-0,05	30 Db	25 Ca	8 Ab	37 Ab
0,05-0,10	31 Ca	21 Bb	11 Aa	37 Ab
0,10-0,20	31ABa	22 Cb	8 Bb	39 Ab
0,20-0,30	28 Bc	23 Db	7 Bc	42 Aa
<i>SPC</i>				
0-0,05	30 CDa	32 ABa	5 Cb	33 Ba
0,05-0,10	31 CDa	30 Aab	7 Ba	32 Ba
0,10-0,20	31 ABa	32 ABa	5 Db	32 Ba
0,20-0,30	29 Bb	29 BCb	8 Ba	34 Ba
<i>CV (%)</i> ¹	8,65	9,30	9,62	7,03
<i>CV (%)</i> ²	10,81	10,40	10,12	6,42

MN: mata nativa; SPD5: sistema plantio direto com 5 anos; SPD7: sistema plantio direto com 7 anos; SPD9: sistema plantio direto com 9 anos; SPC: sistema de preparo convencional. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *CV (%)*¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV (%)*² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

O teor de argila da camada 0-0,10 m da MN foi superior provavelmente pelo grande aporte de resíduos orgânicos, não revolvimento do solo e reduzida erosão hídrica na MN (ALBUQUERQUE et al., 2005) e diferiu estatisticamente somente da camada de 0,10-0,20 m (Tabela 3), uma vez que o maior teor de matéria orgânica (MO) ocorre na camada de 0-0,05 m (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de argila dispersa em água (ADA), grau de floculação (GF) e conteúdo de matéria orgânica (MO) para o cultivo da soja (2008/09)

camadas	ADA	GF	MO
m	-----%-----		g dm ⁻³
<i>MN</i>			
0-0,05	19 BCc	48 Aa	33,0 Aa
0,05-0,10	22 Cb	34 Ab	26,0 Ab
0,10-0,20	23 Bb	18 Cd	17,5 Ac
0,20-0,30	27 Aa	24 Bc	16,0 Ac
<i>SPD5</i>			
0-0,05	17 CDb	46 ABa	16,5 Ca
0,05-0,10	26 Ba	20 Cc	12,5 Bab
0,10-0,20	25 Ba	28 Ab	12,0 Bb
0,20-0,30	25 Ba	23 BCc	10,5 Bb
<i>SPD7</i>			
0-0,05	16 Dc	43 Ba	17,5 Ca
0,05-0,10	22 Cb	25 Bb	15,5 Bab
0,10-0,20	24 Ba	22 Bc	16,5 ABab
0,20-0,30	25 Ba	20 CDc	13,0 ABb
<i>SPD9</i>			
0-0,05	27 Ab	34 Ca	23,5 Ba
0,05-0,10	29 Aab	24 Bc	22,0 Aa
0,10-0,20	28 Aab	29 Ab	17,5 Ab
0,20-0,30	28 Aab	32 Aa	15,5 ABb
<i>SPC</i>			
0-0,05	21 Bc	24 Da	16,5 Ca
0,05-0,10	23 Cb	18 Cb	16,5 Ba
0,10-0,20	24 Bb	22 Bb	14,5 ABa
0,20-0,30	28 Aa	18 Db	12,5 ABa
<i>CV (%)</i> ¹	12,86	13,16	13,72
<i>CV (%)</i> ²	13,83	14,22	8,06

MN: mata nativa; SPD5: sistema plantio direto com 5 anos; SPD7: sistema plantio direto com 7 anos; SPD9: sistema plantio direto com 9 anos; SPC: sistema de preparo convencional. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). $CV (%)$ ¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e $CV (%)$ ² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Em um solo com textura argilosa, como o Latossolo Vermelho disponibilizam melhor a matéria orgânica, e esta pode estar contribuindo para os

maiores valores de CTC (Tabela 1), devido ao desenvolvimento de cargas negativas (MELLO et al., 2006).

Foi observado que os valores absolutos de MO na camada de 0,05 a 0,30m do solo no SPD9 não diferiram estatisticamente ao dos da MN. O SPD9 foi superior estatisticamente na camada de 0-0,10m e diferiu quando comparado com os demais sistemas de plantio direto.

Observa-se na Tabela 4, que os teores de argila dispersa em água (ADA) aumentaram em profundidade em todos os tratamentos. Segundo ALEONI & CAMARGO (1994), um dos fatores que parece ter concorrido para um valor mais elevado de ADA na camada superficial foi seu maior teor de MO.

Os valores do grau de floculação (GF) reduziram da camada de 0 a 0,10m no tratamento de plantio direto. Isto ocorreu provavelmente pela menor contribuição de matéria orgânica na camada de 0,05 a 0,10 m do que na camada de 0-0,05 m, uma vez que está última foi mais beneficiada com a deposição de restos vegetais.

Todos os sistemas de cultivo do solo estudados apresentaram grau de floculação inferior ao da MN na camada de 0-0,10 m (Tabela 4), por receber maior contribuição de matéria orgânica. Além disto, a matéria orgânica provavelmente apresenta-se mais humificada, tendo um efeito de cimentação bem mais pronunciado que o de dispersão pelo aumento de carga líquida. Esse efeito também foi encontrado por PRADO & CENTURION (2001).

2.2 Estabilidade de agregados, matéria orgânica e sistema poroso do solo

Na camada de 0-0,05 m (Tabela 5), maior conteúdo de matéria orgânica foi verificado no solo sob mata nativa (MN), e dentre os sistemas de manejo do solo, o sistema plantio direto de nove anos (SPD9) apresentou maior conteúdo de matéria orgânica, se destacou dos demais, que não diferiram entre si, nessa camada. D' ANDREA et al. (2004) verificaram que no solo sob MN há um acentuado acúmulo de matéria orgânica na superfície, devido à reciclagem dos elementos constituintes dos galhos, folhas e sistema radicular superficial.

Tabela 5. Valores médios do teor de matéria orgânica do Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas

Camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD5	SPD7	SPD9	SPC
	-----MO (g dm ⁻³)-----				
0-0,05	33,0Aa	16,5Ca	17,5Ca	23,5Ba	16,5 Ca
0,05-0,10	26,0Ab	12,5 Bab	15,5Bab	22,0 Aa	16,5 Ba
0,10-0,20	17,5Ac	12,0 Bb	16,5 ABab	17,5Ab	14,5 ABa
0,20-0,30	16,0Ac	10,5 Bb	13,0ABb	15,5 ABb	12,5 ABa
<i>CV</i> (%) ¹	13,72				
<i>CV</i> (%) ²	8,06				

MN: mata nativa; SPD5: sistema plantio direto com 5 anos; SPD7: sistema plantio direto com 7 anos; SPD9: sistema plantio direto com 9 anos; SPC: sistema de preparo convencional. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *CV* (%)¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV* (%)² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Os solos sob SPD9, SPD7 e SPC não diferiram do solo sob MN, nas camadas de 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m. O comportamento do SPC, em relação ao elevado conteúdo de matéria orgânica nessa camada, pode ser explicado pelo fato de que no ano agrícola anterior à implantação desse sistema (revolvimento do solo), a área estava sendo cultivada sob sistema de plantio direto por oito anos consecutivos. Contudo, conforme CIOTTA et al. (2002), espera-se que o conteúdo de matéria orgânica diminua nos próximos anos, já que o revolvimento do solo no SPC favorece a decomposição microbiana da matéria orgânica, por aumentar a aeração e a temperatura, bem como o fracionamento e mistura dos resíduos vegetais com o solo.

Em termos de distribuição de poros do solo (Tabela 6), menor macroporosidade e porosidade total foram encontradas nos sistemas de plantio direto (SPD5, SPD7 e SPD9), nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m em comparação ao SPC e a MN, embora o SPD7 na camada de 0-0,05 m e o SPD9 na camada de 0,05-0,10 m não diferiram do SPC e da MN em relação a esses atributos analisados. Resultados semelhantes também foram verificados por STONE & SILVEIRA (2001) e ALBUQUERQUE et al. (2001). Porém, CUNHA et al. (2007), avaliando a influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho distrófico em plantio direto, verificaram que a

porosidade total do solo foi favorecida pelas rotações que incluíram maior número de cultivos de soja.

Em Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo, OLIVEIRA et al. (2003) verificaram que o sistema plantio direto foi o que mais afetou a porosidade do solo quando comparado ao SPC, ocasionando redução no volume de poros. De acordo com SILVA et al. (2005a), normalmente o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade, quando comparado ao sistema plantio direto. Esse efeito, entretanto, é eliminado pela reconsolidação ou adensamento natural do solo.

Maiores valores de microporosidade foram verificados no solo sob SPD9 e SPD5 na camada de 0-0,30 m em comparação com o SPD7, pois segundo REICHERT et al. (2007) durante o processo de adensamento do solo, os macroporos, responsáveis pela aeração do solo, diminuem e são substituídos por microporos.

Na camada 0-0,10 m do SPD5, nas camadas 0-0,05 m e 0,10-0,30 m do SPD9 e na camada de 0,05-0,10 m no SPD7, a macroporosidade foi próxima a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, e considerado crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (REICHERT et al., 2007). Isso demonstra que o pouco tempo de implantação do sistema plantio direto não foi suficiente para reverter em melhoria do espaço poroso.

A densidade do solo na camada 0-0,05 m do SPC foi significativamente menor em relação ao sistema de plantio direto, porém não diferiu do SPD7. De acordo com SILVA et al. (2005), maiores valores de densidade do solo na superfície do sistema plantio direto, em relação ao SPC são verificados em muitos casos, e estão relacionados ao adensamento natural em função da ausência de revolvimento, como também, pela compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas.

Tabela 6. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho, submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas para o cultivo da soja (2008/09)

Camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD5	SPD7	SPD9	SPC
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,212 Aa	0,095 Ba	0,179 Aa	0,083 Ba	0,234 Aa
0,05-0,10	0,178 Aab	0,090 Ba	0,086 Bb	0,126 ABa	0,190 Aab
0,10-0,20	0,150 Aab	0,120 Aa	0,111 Aab	0,097 Aa	0,150 Ab
0,20-0,30	0,125 ABb	0,107 ABa	0,109 ABab	0,067 Ba	0,173 Aab
$CV (%)^1 = 22,39$					
$CV (%)^2 = 24,36$					
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,238 BCb	0,277 Aa	0,227 Cb	0,304 Aa	0,251 Ba
0,05-0,10	0,247 Cab	0,275 Aa	0,253 BCa	0,288 Ab	0,264 Ba
0,10-0,20	0,252 Ba	0,260 Ba	0,235 Cb	0,300 Aa	0,257 Ba
0,20-0,30	0,257 BCa	0,268 Ba	0,228 Cb	0,317 Aa	0,249 Ba
$CV (%)^1 = 14,05$					
$CV (%)^2 = 17,15$					
Porosidade total ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,450 ABa	0,372 Ca	0,406 BCa	0,387 Ca	0,485 Aa
0,05-0,10	0,425 Aab	0,365 BCa	0,339 Cb	0,414 ABa	0,454 Aab
0,10-0,20	0,402 Aab	0,38 ABa	0,346 Bb	0,397 ABa	0,407 Ab
0,20-0,30	0,382 ABb	0,375 ABa	0,337 Bb	0,384 ABa	0,422 Ab
$CV (%)^1 = 14,13$					
$CV (%)^2 = 16,19$					
Densidade do solo ($Mg m^{-3}$)					
0-0,05	1,30 Db	1,69 Aa	1,50 BCb	1,60 ABa	1,39 CDa
0,05-0,10	1,46 Ca	1,66 ABa	1,75 Aa	1,55 BCa	1,45 Ca
0,10-0,20	1,53 Aa	1,58 Aa	1,66 Aa	1,56 Aa	1,52 Aa
0,20-0,30	1,56 ABa	1,60 ABa	1,68 Aa	1,60 ABa	1,48 Ba
$CV (%)^1 = 16,04$					
$CV (%)^2 = 14,13$					
Diâmetro médio geométrico (mm)					
0-0,05	5,38 Aa	2,69 Ba	2,75 Ba	3,46 Ba	1,19 Ca
0,05-0,10	4,68 Aab	1,29 Cb	1,09 Cb	2,13 Bb	1,51 BCa
0,10-0,20	3,87 Ac	0,69 Bb	0,70 Bb	1,05 Bc	0,81 Ba
0,20-0,30	4,35 Abc	1,12 Bb	0,71 Bb	1,00 Bc	0,99 Ba
$CV (%)^1 = 13,16$					
$CV (%)^2 = 12,63$					
Diâmetro médio ponderado (mm)					
0-0,05	5,69 Aa	4,17 Ba	4,23 Ba	4,75 Ba	2,53 Cab
0,05-0,10	5,40 Aab	2,48 Cb	2,23 Cb	3,65 Bb	2,91 Ca
0,10-0,20	4,89 Ab	1,42 BCc	1,33 Cc	2,09 Bc	1,62 BCc
0,20-0,30	5,14 Aab	1,96 Bbc	1,24 Cc	1,95 BCc	1,91 BCbc
$CV (%)^1 = 18,29$					
$CV (%)^2 = 17,57$					

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). $CV (%)^1$ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e $CV (%)^2$ coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Valores de densidade do solo nos sistemas de plantio direto na camada de 0-0,05 m foram superiores em relação ao preparo convencional e segundo TAVARES FILHO et al. (2006) avaliando os efeitos da escarificação nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto por mais de vinte anos, verificaram que os maiores valores de densidade do solo foram detectados no tratamento sob sistema plantio direto, em relação aos tratamentos com escarificação do solo.

O DMP e DMG foram superiores na MN em todas as camadas estudadas em relação aos demais tratamentos, concordando com os resultados obtidos por WOHLBERG et al. (2004), os quais observaram que a maior estabilidade estrutural em solo arenoso ocorreu sob campo natural e a maior desagregação sob solo descoberto, graças ao intenso preparo do solo que reduziu o conteúdo de matéria orgânica e aumentou a quantidade de agregados de menor tamanho.

Na camada superficial do solo (0-0,05m), observa-se que o DMP para o SPD9 (4,75%) foi superior ao do SPD7 (4,23%), SPD5 (4,17%) e SPC (2,53%). Esse aumento na estabilidade de agregados em água pela adoção do sistema plantio direto em relação ao preparo convencional, foi observado por SILVA et al. (2006), os quais atribuíram ao maior teor de matéria orgânica no sistema plantio direto. Observa-se na Tabela 5, que as maiores estabilidades de agregados foram verificadas por meio do DMP, nos sistemas de plantio direto, os quais não diferiram entre si na camada de 0-0,05m. Esses dados corroboram com ASSIS & LANÇAS (2010), os quais observaram resultados semelhantes no PD12 e no PD5 em um Nitossolo Vermelho distroférico.

Assim, a matéria orgânica e o desenvolvimento de raízes são os principais agentes responsáveis pela formação de agregados maiores (WOHLBERG et al., 2004, SALTON et al., 2008). Entretanto, a estabilidade dos agregados está relacionada com a coesão entre as partículas do solo. Assim, agregados de maior tamanho podem ser obtidos, em alguns casos, por ação de forças de compressão e não pela ação biológica de raízes e microrganismos (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

2.3 Densidade relativa e índice de estratificação de carbono

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de uma razão entre os teores de matéria orgânica entre camadas do perfil do solo (FRANZLUEBBERS, 2002). Este índice de estratificação, considera que as alterações dos atributos do solo decorrentes dos sistemas de manejo, ocorrem predominantemente na camada superficial, pois essa desempenha papel importante no funcionamento dos sistemas de produção. Constatou-se que o índice de estratificação de carbono orgânico teve valor absoluto maior na mata em relação aos demais sistemas de manejo (Tabela 7).

Tabela 7. Índice de estratificação de carbono e teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho, nos diferentes sistemas de manejo e mata nativa no cultivo da soja (2008/09)

camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD5	SPD7	SPD9	SPC
	carbono orgânico (g kg ⁻¹)				
0-0,05 (A)	19,19 Aa	9,59 Ca	10,18 Ca	13,66 Ba	9,59 Ca
0,10-0,15 (B)	12,21 Ab	10,18 Ba	9,59 Ba	12,50 Aa	9,01 Ba
	índice de estratificação (A)/(B)				
	1,58	0,95	1,07	1,10	1,06
<i>CV (%)</i> ¹	8,33				
<i>CV (%)</i> ²	7,07				

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas referem-se à comparação de sistemas de uso numa mesma camada e as minúsculas médias comparam de camadas de um mesmo tratamento. *CV (%)*¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV (%)*² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Valores superiores à unidade indicam acúmulo de carbono orgânico total na superfície, sendo maior quanto mais distante da unidade e indicando melhor qualidade do solo. A existência de valores inferiores a 1 indicaria que o sistema está perdendo qualidade (SALTON, 2009). Dessa maneira, comparando os sistemas de plantio direto o SPD 7 e o SPD 9 em termos de valores absolutos em relação a esse índice foram considerados os melhores sistemas em detrimento do SPD 5, como o sistema inferior em qualidade do solo. No que se refere a máxima compactação do solo, verificou-se que a densidade máxima do solo ($D_{smáx}$) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m (Figura 3, 4 e 5, respectivamente) foram semelhantes entre os manejos, concordando com os resultados obtidos por CAMARA & KLEIN (2005).

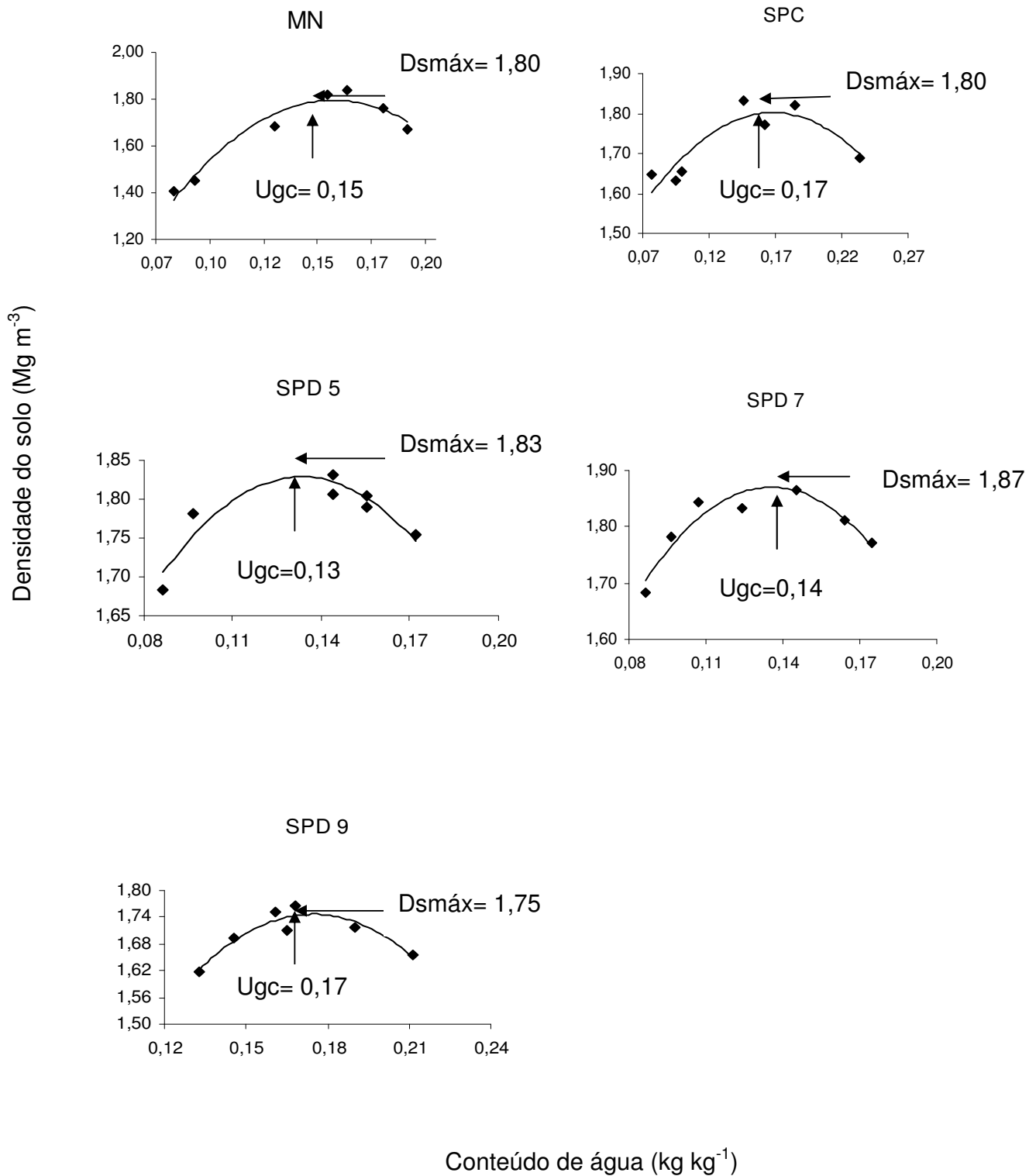


Figura 3. Densidade máxima ($D_{smáx}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0-0,10 m no cultivo da soja (2008/09).

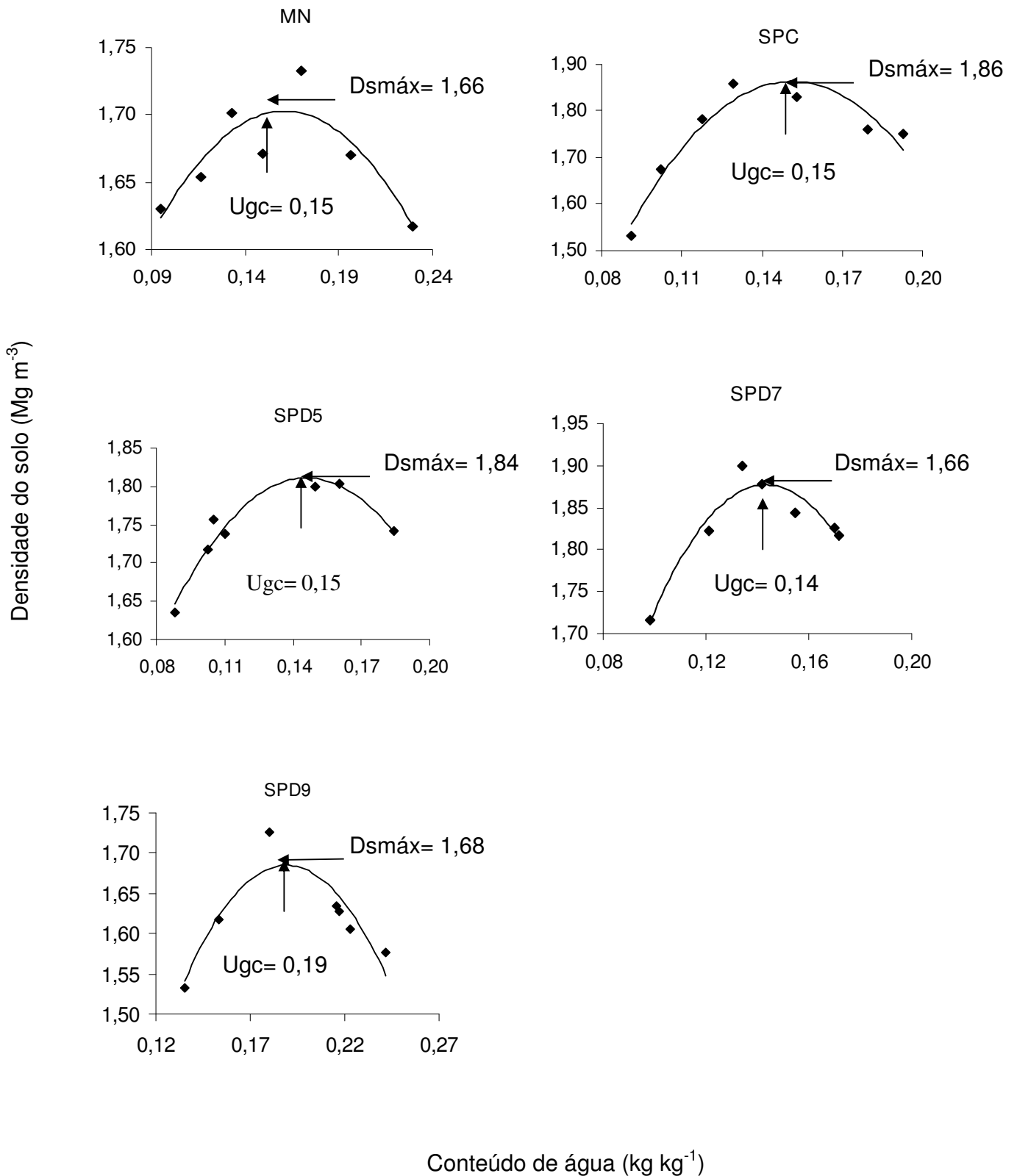


Figura 4. Densidade máxima ($D_{smáx}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,10-0,20 m no cultivo da soja (2008/09).

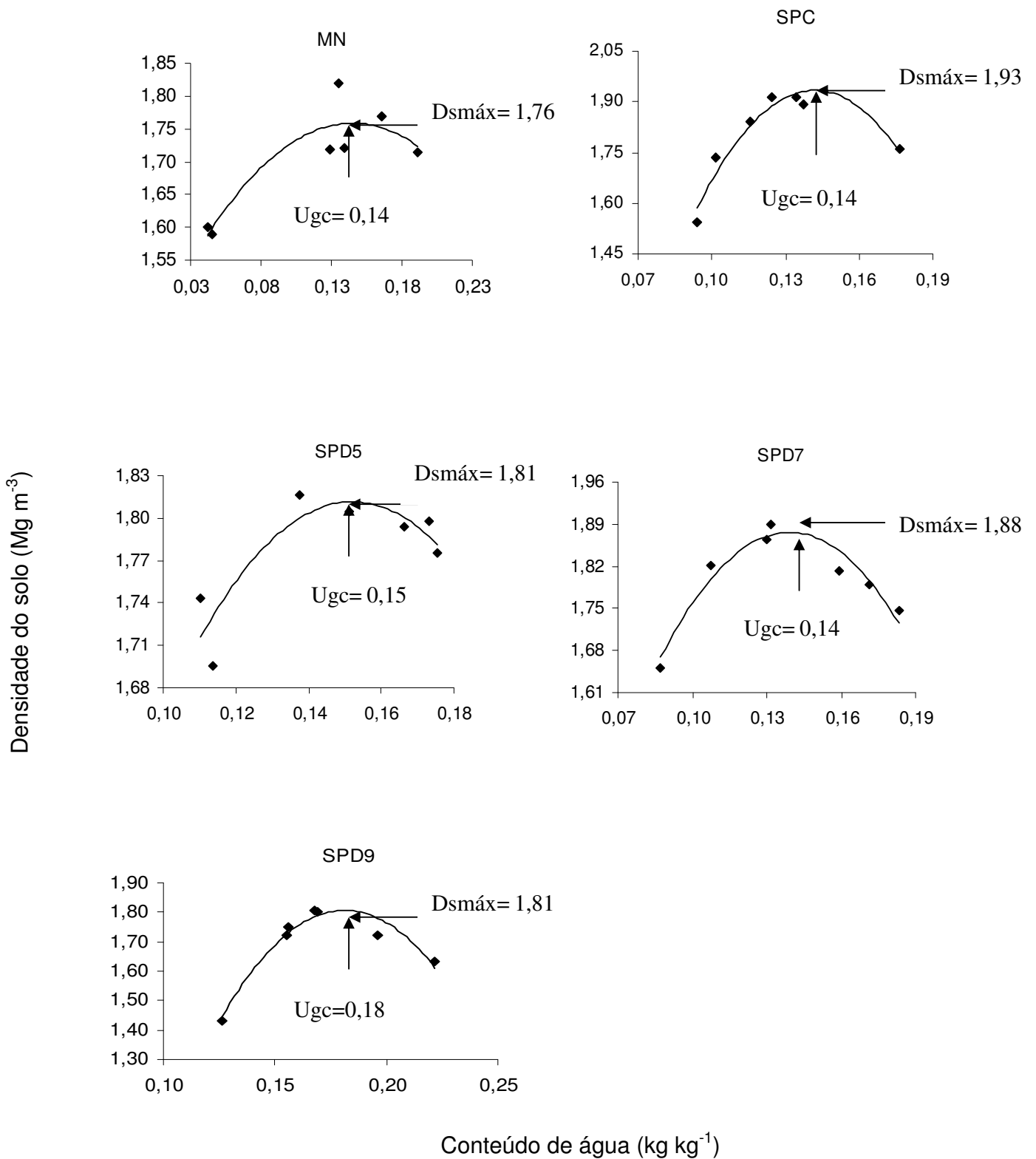


Figura 5. Densidade máxima ($D_{\text{smáx}}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,20-030m no cultivo da soja (2008/09).

Todas as regressões quadráticas para os diferentes sistemas de uso e manejo foram significativas em todas as camadas avaliadas (Tabela 8), com exceção da MN e do SPD5 na camada de 0,20-0,30 m. O SPD7 foi significativo ao nível de 1% de probabilidade e explicou 89, 92 e 92% da densidade do solo (Ds) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m, respectivamente.

A MN apresentou menor valor de $Ds_{máx}$ em comparação ao SPD5, SPD7 e SPD9 na camada de 0,10-0,20 e de 0,20-0,30 m, pois segundo KLEIN (2008) quanto maior o teor de matéria orgânica do solo (MO) menor é a $Ds_{máx}$ devido ao efeito positivo na estabilidade estrutural do solo e sendo que a MO apresenta baixa densidade em comparação ao dos sólidos do solo.

Tabela 8. Resultados da análise de regressão quadrática da densidade do solo (Ds) em função da umidade gravimétrica de água (UG), para os diferentes tratamentos e camadas no cultivo da soja (2008/09)

<i>Tratamentos</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0-0,10 m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -77,1299UG^2 + 23,5316UG + 0,0002$	0,95	25,05**
<i>SPD5</i>	$Ds = -55,7296UG^2 + 14,8667UG + 0,837$	0,86	15,49*
<i>SPD7</i>	$Ds = -68,57542UG^2 + 18,58882UG + 0,6106279$	0,89	26,50**
<i>SPD9</i>	$Ds = -71,50986UG^2 + 24,97051UG - 0,43331032$	0,88	28,79**
<i>SPC</i>	$Ds = -24,15072UG^2 + 8,12726UG + 1,11813$	0,81	11,59*
<i>Tratamentos</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0,10-0,20m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -18,26449UG^2 + 5,5884901UG + 1,228715$	0,76	12,38*
<i>SPD5</i>	$Ds = -48,81616UG^2 + 14,2769UG + 0,7671264$	0,94	37,75**
<i>SPD7</i>	$Ds = -79,63523UG^2 + 22,8274UG + 0,2414$	0,92	34,02**
<i>SPD9</i>	$Ds = -49,40048UG^2 + 18,68744UG - 0,08235236$	0,80	15,96*
<i>SPC</i>	$Ds = -84,82336UG^2 + 25,64835UG - 0,07528938$	0,92	32,65**
<i>Tratamentos</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0,20-0,30 m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -16,14727UG^2 + 4,6802163UG + 1,419294$	0,83	5,01 ^{NS}
<i>SPD5</i>	$Ds = -54,71849UG^2 + 16,64240UG + 0,5461489$	0,77	5,71 ^{NS}
<i>SPD7</i>	$Ds = -77,61721UG^2 + 21,59637UG + 0,3745516$	0,92	46,60**
<i>SPD9</i>	$Ds = -118,9207UG^2 + 43,1294UG - 2,10406$	0,95	62,07**
<i>SPC</i>	$Ds = -152,0295UG^2 + 43,14584UG - 1,127288$	0,94	49,63**

MN: mata nativa, SPD5: sistema plantio direto com 5 anos, SPD7: sistema plantio direto com 7 anos, SPD9: sistema plantio direto com 9 anos e SPC: sistema de preparo convencional no Latossolo Vermelho. **, * Significativos a 1 e 5 %, respectivamente. NS: não significativo.

Em todas as camadas avaliadas o SPD9 teve o maior valor de umidade gravimétrica crítica (U_{gc}); (0,17; 0,19 e 0,18 nas camadas de 0-0,10m; 0,10-0,20m e 0,20-0,30m, respectivamente), isso significa que deve-se evitar o tráfego de máquinas sobre o solo nessa umidade. Assim, espera-se que os outros tratamentos tenham problemas de compactação a menores conteúdos de água no solo em relação as umidades gravimétricas crítica observadas no SPD9.

Os valores de Dsr ótima (Tabela 9) para a produtividade da soja no campo ocorreu na camada de 0,20-0,30m (entre 0,77 a 0,89) e estão próximos do ótimo para a obtenção de produtividades máximas segundo BEUTLER et al. (2005), os quais em um Latossolo Vermelho, observaram que a produtividade de soja decresceu a partir da Dsr de 0,80.

Tabela 9. Densidade relativa (Dsr) de um Latossolo Vermelho nos diferentes tratamentos no cultivo da soja (2008/09)

camadas (m)	MN	SPD5	SPD7	SPD9	SPC
	Dsr				
0-0,10	0,77	0,92	0,87	0,90	0,79
0,10-0,20	0,92	0,87	0,90	0,93	0,82
0,20-0,30	0,89	0,88	0,89	0,88	0,77

2.4. Condutividade hidráulica saturada, curvas de retenção de água e índice S

Maiores valores de condutividade hidráulica foram verificados no solo sob MN (Figura 6), concordando com os resultados obtidos por STONE et al. (2002), o que pode ser atribuído à maior quantidade de poros nesse sistema. Contudo, não se observou diferença entre o SPC e os diferentes sistemas de plantio direto. Em Latossolo Vermelho-Amarelo SILVA & KATO (1997), constataram diferenças importantes na condutividade hidráulica saturada do solo sob plantio direto e sob manejo convencional, mostrando que pequenas diferenças na macroporosidade foram acompanhadas por elevadas diferenças de valores de condutividade hidráulica. Para STONE et al. (2002), o efeito da compactação na redução do tamanho dos poros que efetivamente

transportam água, explica a redução da condutividade hidráulica com o aumento da densidade do solo.

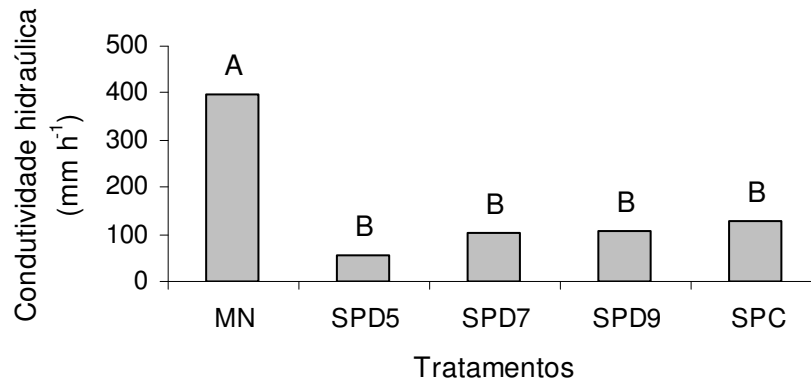


Figura 6. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho submetido na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 5 anos (SPD5), sistema plantio direto com 7 anos (SPD7), sistema plantio direto com 9 anos (SPD9) e sistema de preparo convencional (SPC) até 0,15 m de profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). (CV= 50,45%).

A maior retenção de água no SPD9 em todas as camadas, nas tensões superiores a 0,006 MPa (Figura 7), foi devido à maior microporosidade observada nesse tratamento (Tabela 6), concordando com ARAÚJO et al. (2004) que constataram aumento na retenção de água do solo com o aumento de poros de menor diâmetro. Segundo REICHERT et al. (2007), a microporosidade é responsável pela retenção de água no solo, enquanto a macroporosidade é responsável pela aeração e drenagem de água. BEUTLER et al. (2002), estudando a retenção de água em Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo, verificaram que os solos sob cultivo apresentaram maior retenção de água, em todas as tensões de água no solo, em comparação ao solo sob MN.

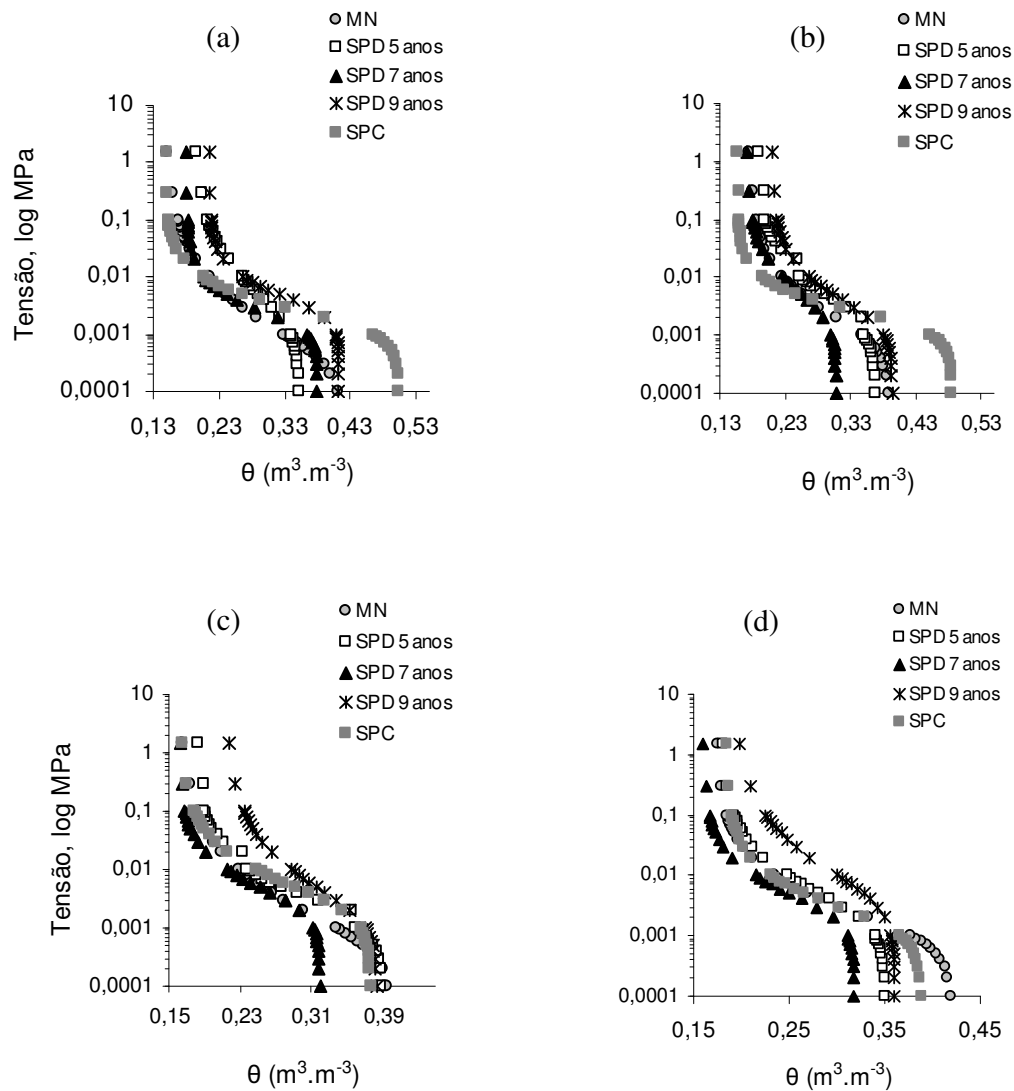


Figura 7. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho em diferentes camadas. (a) 0-0,05 m; (b) 0,05-0,10 m; (c) 0,10-0,20 m e (d) 0,20-0,30 m no cultivo da soja (2008/09)

Os melhores níveis de qualidade estrutural do solo foram verificados, por meio do índice S, na camada 0,05-0,10 m, no solo sob MN e na camada de 0-0,10m, no SPC (Figura 8), o que, segundo DEXTER (2004), pode ser atribuído ao teor mais elevado de matéria orgânica na MN levando em consideração essa camada estudada, que é um dos fatores que condiciona a qualidade estrutural dos solos como meio de crescimento para as raízes, consequentemente, reflete em maior porosidade total do solo. A qualidade física do solo sob o SPC na camada de 0-0,10 m de acordo com o índice S,

foi superior aos demais tratamentos devido ao revolvimento do solo que implica em elevada macroporosidade do solo. Verifica-se que os maiores valores de índice S ocorreram no SPC em todas as camadas avaliadas em comparação com os sistemas de plantio direto.

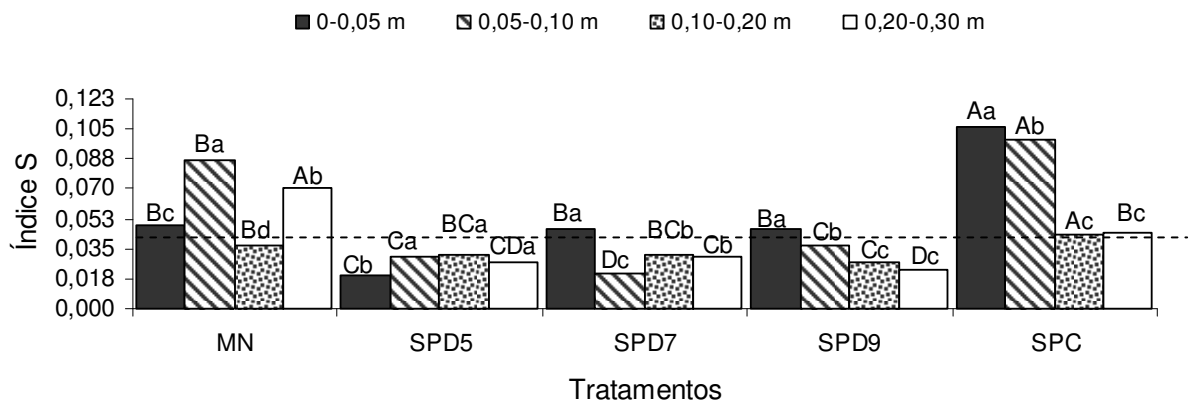


Figura 8. Índice S na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 5 anos (SPD 5), sistema plantio direto com 7 anos (SPD 7), sistema plantio direto com 9 anos (SPD 9) e sistema preparo convencional (SPC), referentes às camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m do Latossolo Vermelho. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV=18,61% (parcela) e CV=13,06% (subparcela).

Verifica-se que, em algumas camadas de determinados tratamentos, os valores do índice S foram iguais ou inferiores a 0,035, valor este estipulado como sendo o limite entre um solo que apresenta estrutura física degradada e outro não-degradado (DEXTER, 2004). Esse resultado discorda daqueles obtidos por NETTO et al. (2007) em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, os quais verificaram que esse comportamento não foi observado em um Latossolo Vermelho argiloso, mesmo expondo-o à perda de sua qualidade física devido ao tráfego de máquinas e equipamentos.

2.5. Resistência do solo à penetração e produtividade da cultura da soja

Como a resistência do solo à penetração varia inversamente ao conteúdo de água do solo, foi realizado o monitoramento do teor de água no solo até a profundidade de 0,20 m durante todo o ciclo da cultura da soja, para determinar a resistência do solo à penetração durante o ciclo da cultura nas camadas de 0-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 10).

Tabela 10. Regressão entre a umidade volumétrica de água (UV) e a resistência do Latossolo Vermelho à penetração (RP) nos diferentes tratamentos no cultivo da soja (2008/09)

Tratamentos	Camadas		
	0-0,05 m		
SPD5	RP = $14,08e^{-1,26UV}$	R ² =0,98	F=653,85**
SPD7	RP = $54,38e^{-3,62UV}$	R ² =0,73	F=0,15 ^{NS}
SPD9	RP = $3,99e^{-0,87UV}$	R ² =0,91	F=24,00*
SPC	RP = $2,76e^{-0,65UV}$	R ² =0,84	F=0,07 ^{NS}
	0,10-0,20 m		
SPD5	RP = $6,29e^{-5,75UV}$	R ² =0,98	F=208,97**
SPD7	RP = $20,72e^{-0,66UV}$	R ² =0,93	F=32,75**
SPD9	RP = $3,33e^{-0,29UV}$	R ² =0,72	F=7,00 ^{NS}
SPC	RP = $3,64e^{-0,74UV}$	R ² =0,80	F=0,06 ^{NS}

MN: mata nativa, SPD5: sistema plantio direto com 5 anos, SPD7: sistema plantio direto com 7 anos, SPD9: sistema plantio direto com 9 anos e SPC: sistema de preparo convencional no Latossolo Vermelho. **, * Significativos a 1 e 5 %, respectivamente. NS: não significativo.

Na Figura 9, pode-se observar que no período compreendido entre 60 a 75 dias após a emergência, que é o período crítico da cultura da soja, devido à baixa umidade do solo, o SPC encontrou valores elevados de resistência do solo à penetração, prejudicando o desenvolvimento da cultura. Entretanto, nesse mesmo período, esse fato não foi observado nos demais sistemas de manejo, isso possivelmente levou a uma menor produtividade do SPC (Tabela 8). Segundo TORMENA & ROLOFF (1996), valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 MPa são considerados impeditivos para o crescimento de raízes no solo.

Pode-se notar que a resistência do solo à penetração atingiu valores elevados em função do baixo conteúdo de água no solo (Figura 9), concordando com resultados

obtidos por BEUTLER & CENTURION (2004), e dependendo do estágio de desenvolvimento da cultura, essa elevada resistência do solo à penetração prejudica o desenvolvimento radicular, levando à redução de produtividade.

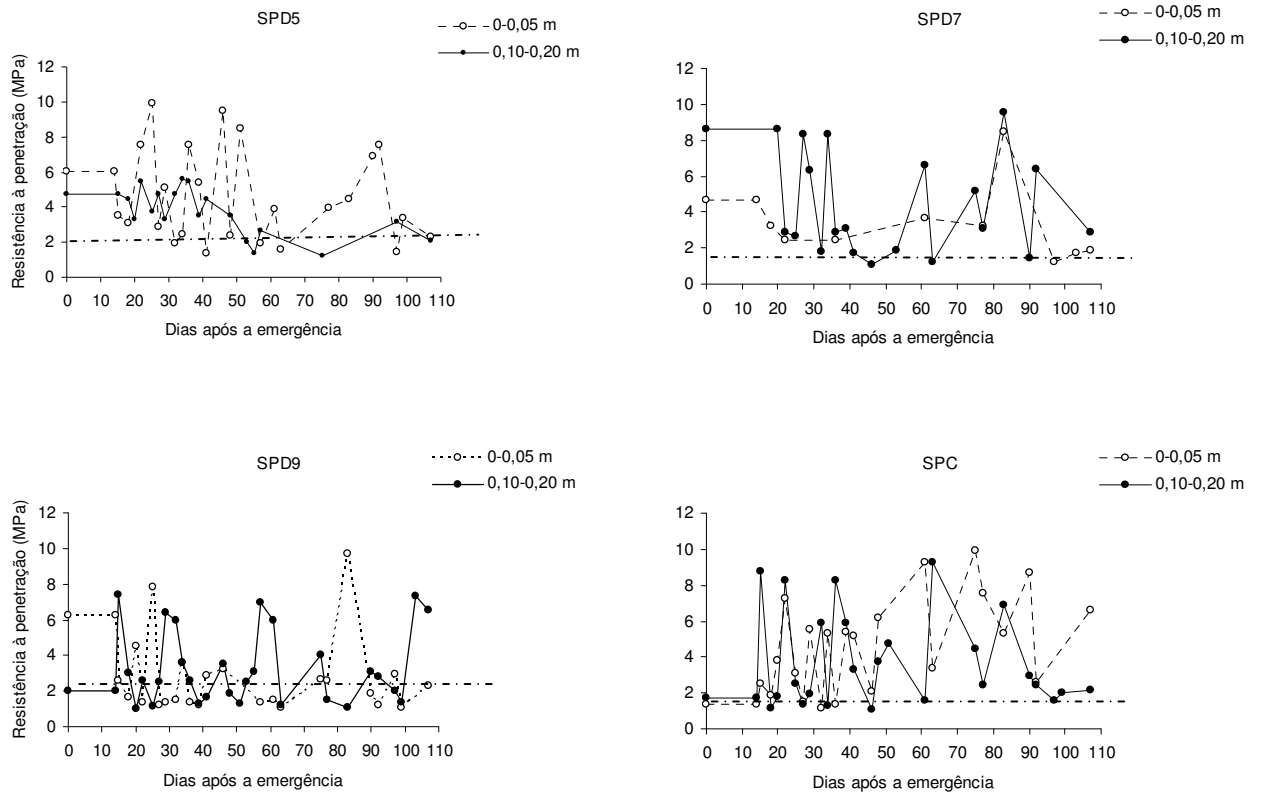


Figura 9. Variação da resistência do Latossolo Vermelho à penetração em função do conteúdo de água no solo, em diferentes camadas e tipos de manejo durante o ciclo da cultura da soja (2008/09)

Na Tabela 11, pode-se verificar que todos os tratamentos avaliados superaram a produtividade média nacional de soja, que segundo realizada pela CONAB (2009) na safra 2008/09, foi de 2.710 kg ha⁻¹.

Tabela 11. Altura da planta, altura de inserção da 1ª vagem, peso de 1000 grãos e produtividade média de plantas de soja nos diferentes tratamentos

Tratamentos	altura da planta	inserção da 1ª vagem	peso de 1000 grãos	produtividade
	-----cm-----		g	kg ha ⁻¹
<i>SPD5</i>	98,57 a	24,02 a	0,35 b	4.421,66 ab
<i>SPD7</i>	94,67 a	27,72 a	0,34 b	5.828,02 a
<i>SPD9</i>	93,80 a	24,42 a	0,44 a	4.994,47 ab
<i>SPC</i>	97,18 a	24,02 a	0,41 ab	4.331,51 b
CV (%)	6,14	9,21	12,93	18,37

A cultura da soja pode sofrer reduções na produção de grãos quando há déficit hídrico em dois períodos de desenvolvimento da cultura, que ocorre na germinação-emergência (no período VE que compreende de 5-15 dias após a semeadura) e na floração-enchimento de grãos (no período de R1 a R6 que compreende em média de 15 dias após o florescimento). Se o déficit hídrico ocorrer no período crítico, a recuperação da capacidade produtiva da cultura não poderá ocorrer de forma satisfatória uma vez que os eventos reprodutivos são muito mais rápidos do que os verificados durante o crescimento vegetativo. Nessa safra, as precipitações registradas (Figura 1) não comprometeram o desenvolvimento da cultura da soja (EMBRAPA, 2005).

O SPC teve uma produtividade média inferior e diferiu estatisticamente apenas do SPD 7, resultado dos elevados valores de resistência do solo à penetração (Figura 9), em função do teor de água no solo, na fase crítica da cultura da soja, que provavelmente foram impeditivos ao crescimento do sistema radicular nesse sistema de preparo.

Nos sistemas de plantio direto embora não tenha ocorrido diferença estatística, observou-se um acréscimo na seguinte ordem em kg ha⁻¹ SPD 7 (5.828,02); SPD 9 (4.994,47) e SPD 5 (4.421,66). O plantio direto mostrou produtividade média maior que a do preparo convencional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO II

3.1 Análise granulométrica do solo

A análise granulométrica (Tabela 12), foi realizada a fim de verificar a existência de possíveis efeitos dos diferentes manejos na distribuição de partículas primárias do solo.

Tabela 12. Análise granulométrica no ano agrícola de 2009/10

camadas (m)	Areia Total	Silte	Argila	ADA	MO (g dm ⁻³)
	-----%-----				
MN					
0-0,05	60 Cab	7 Aa	33 Bb	17 Dc	28,3 Aa
0,05-0,10	61 Ba	5 ABa	34 Bb	20 Cb	23,5 Ab
0,10-0,20	60 Bab	7 Aa	33 Bb	20 Db	18,5 Ac
0,20-0,30	57 Bb	6 Aa	37 Ba	23 Ba	13,6 Ad
SPD6					
0-0,05	68 Aa	3 Ba	29 Cb	21 Cc	19,0 Ca
0,05-0,10	64 ABab	3 Ca	33 Ba	25 ABab	12,8 Cb
0,10-0,20	63 ABb	4 Ba	33 Ba	26 BCa	12,1 Bb
0,20-0,30	65 Aab	3 Ba	32 CDab	24 Bb	12,5 ABb
SPD8					
0-0,05	67 ABa	4 Ba	29 Cb	22 Cc	19,0 Ca
0,05-0,10	67 Aa	4 BCa	29 Cb	24 Bb	12,8 Cb
0,10-0,20	66 Aab	4 Ba	30 Cb	25 Cb	11,6 Bb
0,20-0,30	62 Ab	4 Ba	34 Ca	28 Aa	9,0 Bc
SPD10					
0-0,05	54 Da	7 Aa	39 Ab	25 Bb	24,3 Ba
0,05-0,10	53 Ca	6 Aab	41 Aab	27 Aa	17,0 Bb
0,10-0,20	53 Ca	6 Aab	41 Aab	29 Aa	12,3 Bc
0,20-0,30	53 Ca	5 ABb	42 Aa	29 Aa	11,1 ABc
SPC					
0-0,05	63 BCa	3 Ba	34 Ba	27 ACa	13,8 Dab
0,05-0,10	66 Aa	3 Ca	31 BCb	26 Aab	14,0 BCa
0,10-0,20	64 ABa	4 Ba	32 BCab	28 ABa	12,3 Bab
0,20-0,30	67 Aa	4 Ba	29 Db	24 Bb	11,4 ABb
<i>CV (%)</i> ¹	5,10	15,19	7,53	10,41	19,20
<i>CV (%)</i> ²	7,99	21,36	8,39	9,96	8,80

MN: mata nativa; SPD6: sistema plantio direto com 6 anos; SPD8: sistema plantio direto com 8 anos; SPD10: sistema plantio direto com 10 anos; SPC: sistema de preparo convencional. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *CV (%)*¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV (%)*² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Ao analisar os resultados na Tabela 12, verificou-se que ocorreu um aumento no teor de argila em profundidade no tratamento SPD6, e no SPD10 em todas as camadas esse teor foi superior em comparação aos demais tratamentos, provavelmente devido ao aporte de resíduos orgânicos e diferiu estatisticamente somente da camada de 0-0,05 m em comparação a de 0,20-0,30 m, embora os teores de MO foram similares nesse tratamento.

Observa-se na Tabela 12, que os teores de argila dispersa em água (ADA) aumentaram em profundidade em todos os tratamentos. Segundo ALEONI & CAMARGO (1994), um dos fatores que parece ter concorrido para um valor mais elevado de ADA na camada superficial foi seu maior teor de MO.

O grau de floculação (GF) no SPD10 (Figura 10) foi superior em comparação com os demais sistemas de plantio direto. Isto ocorreu provavelmente por causa do maior aporte de MO na camada de 0-0,10m nesse tratamento. A MN teve GF superior em relação aos demais tratamentos e isso provavelmente deve-se ao elevado teor de MO na camada de 0-0,10m.

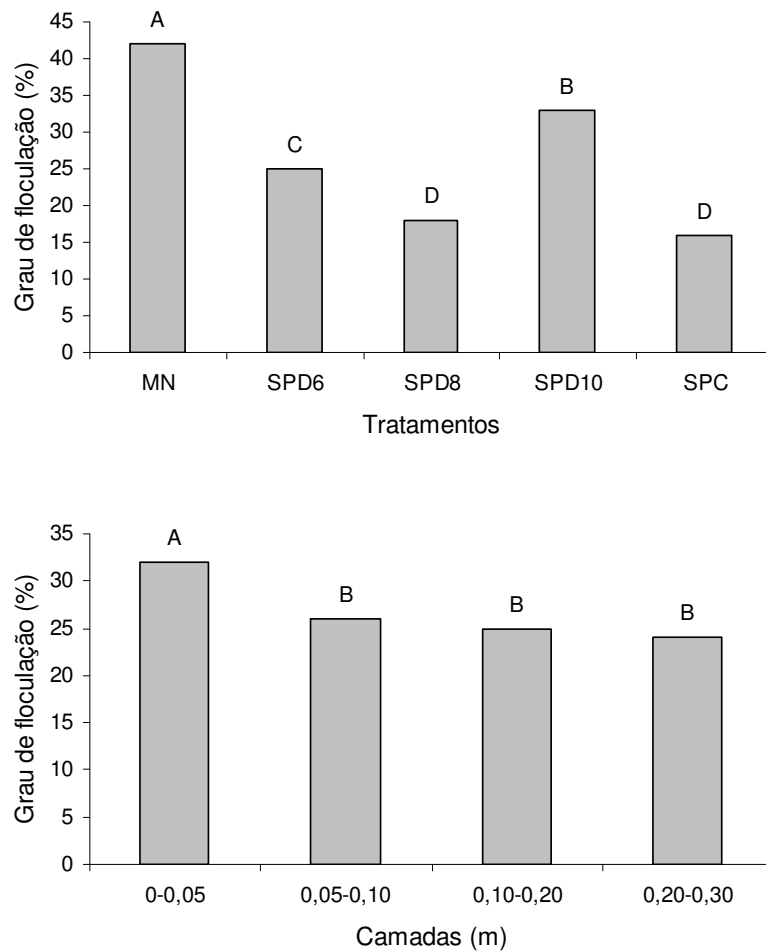


Figura 10. Porcentagem do grau de floculação na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD 6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD 8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD 10) e sistema preparo convencional (SPC). Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV=17,40% (parcela) e CV=13,37% (subparcela).

3.2 Estabilidade de agregados, Matéria orgânica e Sistema poroso do solo

Na camada de 0-0,05 m (Tabela 13), maior conteúdo de matéria orgânica foi verificado no solo sob mata nativa (MN), e dentre os sistemas de manejo do solo, o sistema plantio direto de dez anos (SPD10) apresentou maior conteúdo de matéria orgânica, se destacou dos demais, que não diferiram entre si, nessa camada. D' ANDREA et al. (2004) verificaram que no solo sob MN há um

acentuado acúmulo de matéria orgânica na superfície, devido à reciclagem dos elementos constituintes dos galhos, folhas e sistema radicular superficial.

Tabela 13. Valores médios do teor de matéria orgânica do Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas

camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD6	SPD8	SPD10	SPC
	-----MO (g dm ⁻³)-----				
0-0,05	28,3 Aa	19,0 Ca	19,0 Ca	24,3 Ba	13,8 Dab
0,05-0,10	23,5 Ab	12,8 Cb	12,8 Cb	17,0 Bb	14,0 BCa
0,10-0,20	18,5 Ac	12,1 Bb	11,6 Bb	12,3 Bc	12,3 Bab
0,20-0,30	13,6 Ad	12,5 ABb	9,0 Bc	11,1 ABc	11,4 ABb
<i>CV (%)</i> ¹	19,20				
<i>CV (%)</i> ²	8,80				

MN: mata nativa; SPD5: sistema plantio direto com 5 anos; SPD7: sistema plantio direto com 7 anos; SPD9: sistema plantio direto com 9 anos; SPC: sistema de preparo convencional. Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). *CV (%)*¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV (%)*² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Os solos sob SPD6, SPD10 e SPC não diferiram do solo sob MN, na camada de 0,20-0,30 m. O comportamento do SPC, em relação ao elevado conteúdo de matéria orgânica nessa camada, pode ser explicado pelo fato de que em dois anos agrícolas anteriores a área estava sendo cultivada sob sistema de plantio direto por oito anos consecutivos. Contudo, conforme CIOTTA et al. (2002), espera-se que o conteúdo de matéria orgânica diminua nos próximos anos, já que o revolvimento do solo no SPC favorece a decomposição microbiana da matéria orgânica, por aumentar a aeração e a temperatura, bem como o fracionamento e mistura dos resíduos vegetais com o solo.

Em termos de distribuição de poros do solo (Tabela 14), a menor macroporosidade foi encontrada nos sistemas de plantio direto (SPD6, SPD8 e SPD10), nas camadas de 0-0,05 e 0,05-0,10 m em comparação ao SPC e a MN. Resultados semelhantes também foram verificados por STONE & SILVEIRA (2001) e ALBUQUERQUE et al. (2001), os quais esses últimos observaram que os macroporos decresceram da mata (0,29), para o PC (0,17) e deste para o PD6 (0,13) e as modificações verificadas no sistema plantio direto afetaram o crescimento e a produtividade da cultura do milho.

Na camada de 0-0,30 m, a macroporosidade do SPC foi significativamente semelhante à da MN. De acordo com SILVA et al. (2005), normalmente o revolvimento do solo promove um aumento temporário da macroporosidade, quando comparado ao plantio direto. A porosidade total menor no SPD6, SPD8 e SPD10 na camada de 0-0,10 m em relação a MN, embora o SPD10 não diferiu da MN na camada de 0,05-0,10 m.

Em Latossolo Vermelho distrófico argiloso sob diferentes sistemas de uso e manejo, OLIVEIRA et al. (2003) verificaram que o sistema plantio direto foi o que mais afetou a porosidade do solo quando comparado ao SPC, ocasionando redução no volume de poros.

Maiores valores de microporosidade foram verificados no solo sob SPD10 na camada de 0,05-0,30 m em comparação com o SPD8, pois segundo REICHERT et al. (2007) durante o processo de adensamento do solo, os poros maiores, responsáveis pela aeração do solo, diminuem e são substituídos por poros menores, os microporos.

Na camada 0-0,05 m do SPD8 e da 0,05-0,30 m do SPD10, a macroporosidade foi próxima a $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, mínimo adequado para as trocas líquidas e gasosas entre o ambiente externo e o solo, e considerado crítico para o crescimento das raízes da maioria das culturas (REICHERT et al., 2007). Isso demonstra que o pouco tempo de implantação do sistema plantio direto não foi suficiente para reverter em melhoria do espaço poroso.

A densidade do solo na camada 0-0,05 m do SPC foi significativamente menor em relação ao SPD8, porém o SPD6 foi semelhante ao SPC. De acordo com SILVA et al. (2005), maiores valores de densidade do solo na superfície do sistema plantio direto, em relação ao SPC são verificados em muitos casos, e estão relacionados ao adensamento natural em função da ausência de revolvimento, como também, pela compactação ocasionada pelo tráfego de máquinas.

Tabela 14. Valores médios de macroporosidade, microporosidade, porosidade total, densidade do solo, diâmetro médio geométrico e diâmetro médio ponderado do Latossolo Vermelho submetido a sistemas de manejo e mata nativa em diferentes camadas no cultivo do milho (2009/10)

Camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD6	SPD8	SPD10	SPC
Macroporosidade ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,316 Aa	0,179 Ba	0,082 Ca	0,117 BCa	0,267 Aa
0,05-0,10	0,234 Ab	0,103 Bb	0,124 Ba	0,085 Ba	0,224 Aa
0,10-0,20	0,145 Ac	0,106 Ab	0,141 Aa	0,084 Aa	0,148 Ab
0,20-0,30	0,180 Abc	0,131 ABab	0,138 ABa	0,091 Ba	0,147 ABb
$CV (%)^1$	=19,84				
$CV (%)^2$	=18,50				
Microporosidade ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,257 Cc	0,301 Ba	0,345 Aa	0,351 Aa	0,260 Cb
0,05-0,10	0,270 Cbc	0,325 ABa	0,302 BCb	0,346 Aa	0,267 Cab
0,10-0,20	0,306 ABa	0,302 ABa	0,279 Bb	0,331 Aa	0,291 Bab
0,20-0,30	0,297 ABab	0,299 ABa	0,277 Bb	0,329 Aa	0,299 ABa
$CV (%)^1$	=17,08				
$CV (%)^2$	=16,19				
Porosidade total ($m^3 m^{-3}$)					
0-0,05	0,573 Aa	0,480 Ba	0,444 Ba	0,464 Ba	0,439 Bab
0,05-0,10	0,505 Aab	0,403 Cb	0,415 BCa	0,436 ABCa	0,491 ABa
0,10-0,20	0,451 Ab	0,408 Ab	0,433 Aa	0,415 Aa	0,418 Ab
0,20-0,30	0,477 Ab	0,429 ABab	0,415 ABa	0,397 Ba	0,467 ABab
$CV (%)^1$	=19,33				
$CV (%)^2$	=18,27				
Densidade do solo ($Mg m^{-3}$)					
0-0,05	1,16 Cc	1,54 Bb	1,76 Aa	1,61 ABb	1,42 Bb
0,05-0,10	1,38 Bb	1,77 Aa	1,82 Aa	1,76 Aa	1,53 Ab
0,10-0,20	1,62 Aa	1,76 Aa	1,75 Aa	1,76 Aa	1,69 Aa
0,20-0,30	1,58 Ba	1,72 ABa	1,79 Aa	1,74 ABab	1,71 ABa
$CV (%)^1$	=18,28				
$CV (%)^2$	=14,80				
Diâmetro médio geométrico (mm)					
0-0,05	5,74 Aa	4,84 ABa	1,85 CDa	3,53 BCa	1,54 Da
0,05-0,10	5,17 Aab	2,85 Bb	0,86 Ca	0,95 Cb	1,35 Ca
0,10-0,20	5,06 Aab	1,49 BCb	0,72 Ca	2,93 Ba	1,50 BCa
0,20-0,30	3,95 Ab	1,51 Bb	0,47 Ba	0,83 Bb	0,78 Ba
$CV (%)^1$	=19,45				
$CV (%)^2$	=18,12				
Diâmetro médio ponderado (mm)					
0-0,05	5,88 Aa	5,53 Ab	3,54 Ca	4,86 Ba	3,11 Da
0,05-0,10	5,59 Aa	4,36 Bb	1,90 Db	2,02 Db	2,76 Ca
0,10-0,20	5,58 Aa	2,95 Bc	1,48 Cc	1,77 Cbc	3,01 Ba
0,20-0,30	4,94 Ab	2,99 Bc	0,73 Dd	1,62 Cc	1,56 Cb
$CV (%)^1$	=16,28				
$CV (%)^2$	=16,46				

Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, em cada variável, não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). $CV (%)^1$ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e $CV (%)^2$ coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Segundo TAVARES-FILHO et al. (2006) avaliando os efeitos da escarificação nas propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto por mais de vinte anos, verificaram que os maiores valores de densidade do solo foram detectados no tratamento sob sistema plantio direto, em relação aos tratamentos com escarificação do solo.

O DMP e DMG foram superiores na MN em todas as camadas estudadas em relação aos demais tratamentos, com exceção do SPD6 na camada de 0-0,05 m, concordando com os resultados obtidos por WOHLBERG et al. (2004) os quais observaram que a maior estabilidade estrutural em solo arenoso ocorreu sob campo natural e a maior desagregação sob solo descoberto, graças ao intenso preparo do solo que reduziu o conteúdo de matéria orgânica e aumentou a quantidade de agregados de menor tamanho.

Na camada superficial do solo (0-0,05m), observa-se que o DMP para o SPD6 (5,53%) foi superior ao do SPD10 (4,86%), SPD8 (3,54%) e SPC (3,11%). Esse aumento na estabilidade de agregados em água pela adoção do sistema plantio direto em relação ao preparo convencional, foi observado por SILVA et al. (2006), os quais atribuíram ao maior conteúdo de matéria orgânica no sistema plantio direto. Resultados semelhantes no preparo convencional (PC), foram verificados também por MARCOLAN & ANGHINONI (2006), pois a menor estabilidade de agregados no PC era esperada.

Observa-se na Tabela 14, que as maiores estabilidades de agregados foram verificadas por meio do DMP, nos sistemas de plantio direto. Esses dados corroboram com ASSIS & LANÇAS (2010), os quais observaram resultados semelhantes no PD12 e no PD5 em um Nitossolo Vermelho distroférico.

Assim, a matéria orgânica e o desenvolvimento de raízes são os principais agentes responsáveis pela formação de agregados maiores (WOHLBERG et al., 2004, SALTON et al., 2008). Entretanto, a estabilidade dos agregados está relacionada com a coesão entre as partículas do solo. Assim, agregados de maior tamanho podem ser obtidos, em alguns casos, por ação de forças de compressão e não pela ação biológica de raízes e microrganismos (CARPENEDO & MIELNICZUK, 1990).

3.3 Densidade relativa e Índice de estratificação de carbono

A qualidade do solo pode ser avaliada por meio de uma razão entre os teores de matéria orgânica entre camadas do perfil do solo (FRANZLUEBBERS, 2002). Este índice de estratificação, considera que as alterações dos atributos do solo decorrentes dos sistemas de manejo, ocorrem predominantemente na camada superficial, pois essa desempenha papel importante no funcionamento dos sistemas de produção. Dessa maneira, comparando entre os sistemas de plantio direto os valores absolutos em relação a esse índice apresentaram que o SPD10 > SPD8 > SPD6. Sendo que o sistema inferior em qualidade do solo foi o SPC (Tabela 15).

Tabela 15. Índice de estratificação de carbono e teor de carbono orgânico do Latossolo Vermelho nos diferentes sistemas de preparo e mata nativa no cultivo do milho (2009/10)

camadas (m)	Tratamentos				
	MN	SPD6	SPD8	SPD10	SPC
	carbono orgânico (g kg ⁻¹)				
0-0,05 (A)	16,43 Aa	11,5 Ca	11,05 Ca	14,1 Ba	7,99 Da
0,10-0,15 (B)	11,49 Ab	6,98 Bb	6,84 Bb	7,27 Bb	7,27 Ba
	índice de estratificação (A)/(B)				
	1,43	1,64	1,62	1,94	1,10
<i>CV (%)</i> ¹	19,72				
<i>CV (%)</i> ²	12,90				

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). Letras maiúsculas referem-se à comparação de sistemas de uso numa mesma camada e as minúsculas médias comparam de camadas de um mesmo tratamento. *CV (%)*¹ coeficiente de variação referente aos tratamentos (parcelas) e *CV (%)*² coeficiente de variação referente as camadas (subparcelas).

Valores superiores à unidade indicam acúmulo de carbono orgânico total na superfície, sendo maior quanto mais distante da unidade e indicando melhor qualidade do solo. A existência de valores inferiores a 1 indicaria que o sistema está perdendo qualidade (SALTON, 2009). No que se refere a máxima compactação do solo, verificou-se que a densidade máxima do solo ($D_{smáx}$) nas camadas de 0-0,10; 0,10-0,20 e 0,20-0,30 m (Figura 11, 12 e 13, respectivamente) foram semelhantes entre os manejos, concordando com os resultados obtidos por CAMARA & KLEIN (2005).

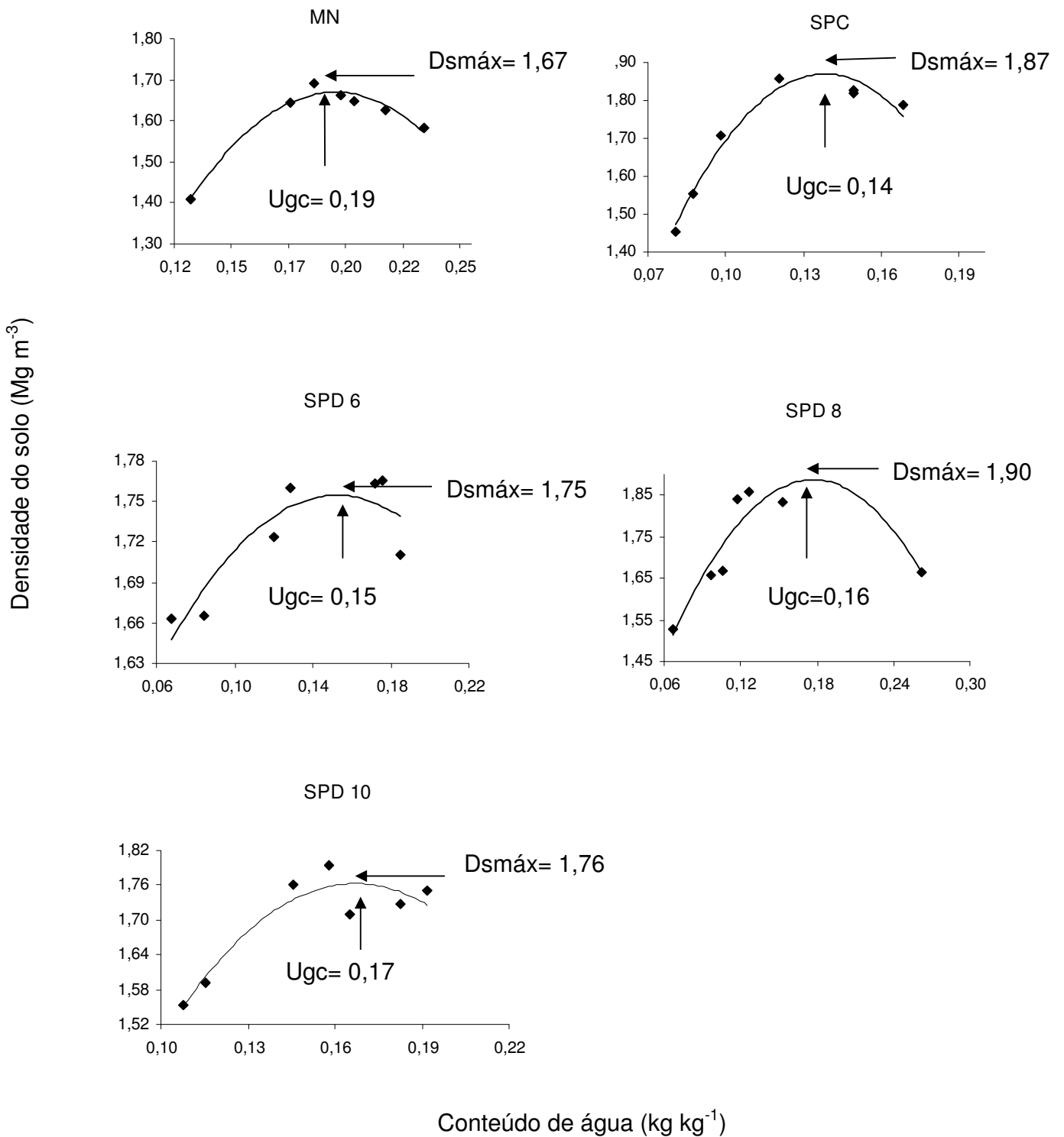


Figura 11. Densidade máxima ($D_{\text{smáx}}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0-0,10 m no cultivo do milho (2009/10)

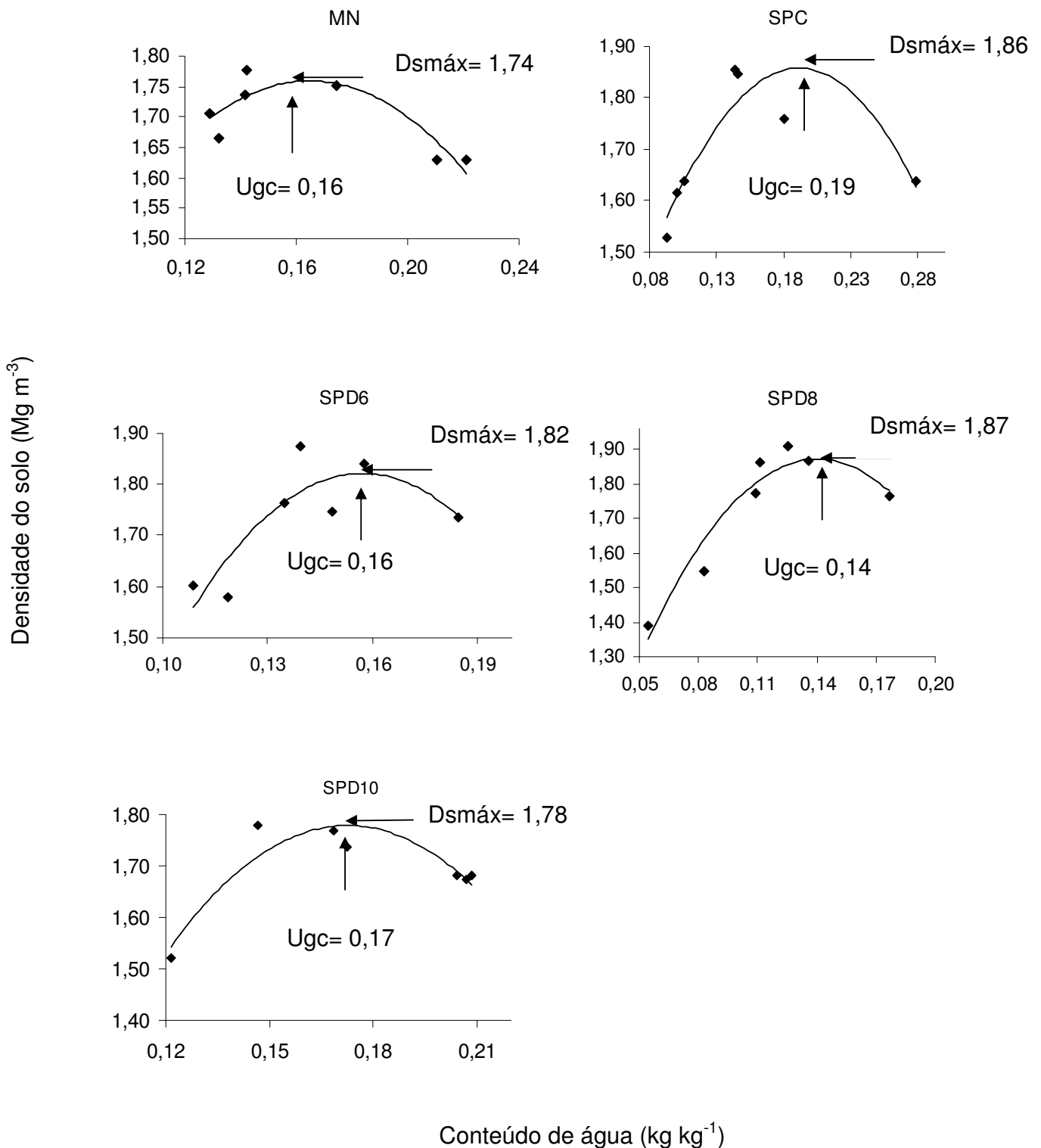


Figura 12. Densidade máxima ($D_{smáx}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,10-0,20 m no cultivo do milho (2009/10)

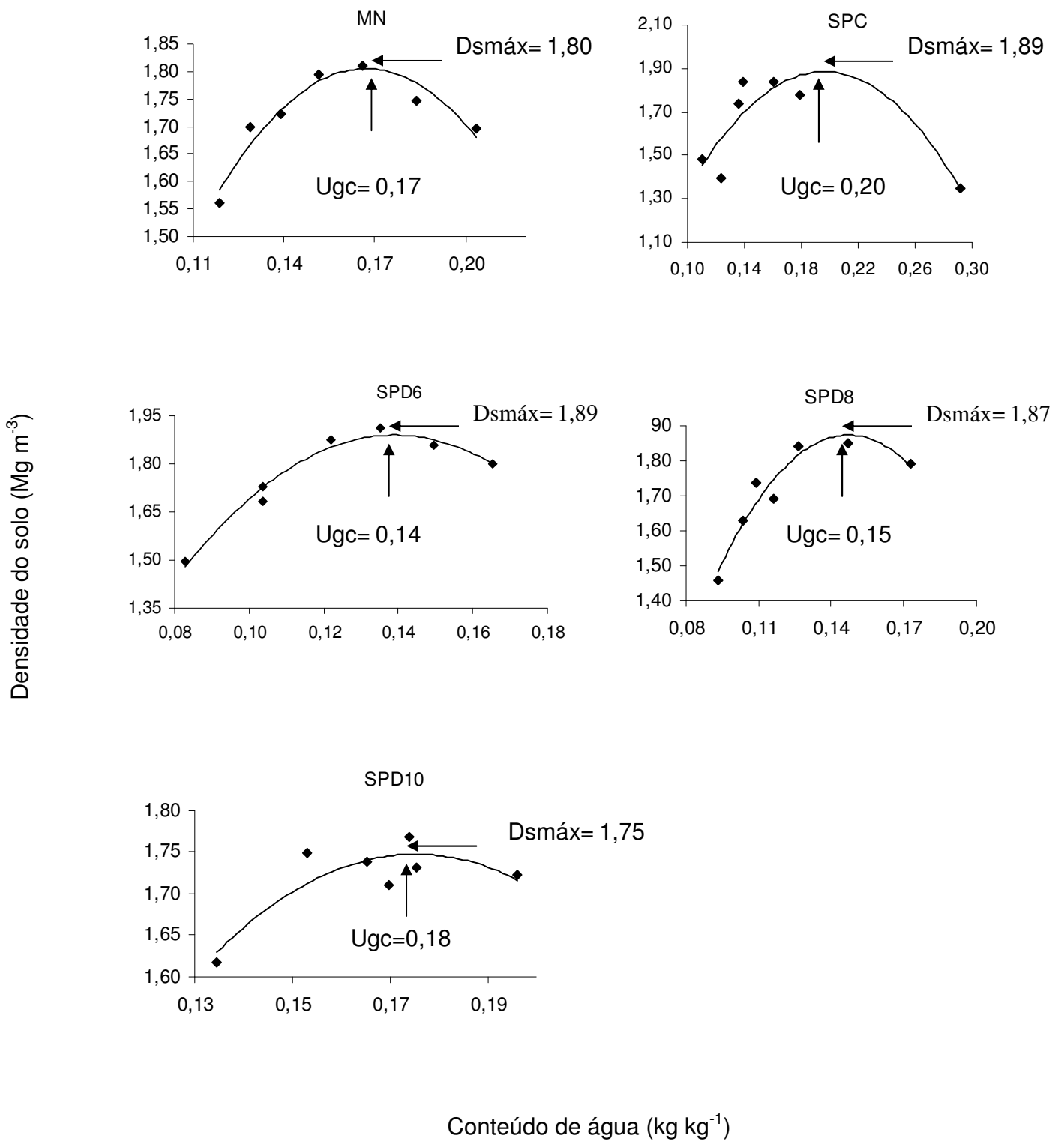


Figura 13. Densidade máxima ($D_{smáx}$) e umidade gravimétrica crítica (U_{gc}) de um Latossolo Vermelho determinada pelo ensaio de Proctor na camada de 0,20-030m no cultivo do milho (2009/10)

As regressões quadráticas para os diferentes sistemas de uso e manejo foram significativas no SPC, SPD6, SPD8 e SPD10 na camada de 0-0,10m (Tabela 16), com exceção da MN e explicou 96, 78, 90 e 87% da densidade do solo (Ds), respectivamente.

Tabela 16. Resultados da análise de regressão quadrática da densidade do solo (Ds) em função da umidade gravimétrica de água (UG), para os diferentes tratamentos e camadas no cultivo do milho (2009/10)

<i>Tratamento</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0-0,10 m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -65,001UG^2 + 24,75UG - 0,6866$	0,97	2,19 ^{NS}
<i>SPD6</i>	$Ds = -15,01UG^2 + 4,5705UG + 1,4067$	0,78	8,07*
<i>SPD8</i>	$Ds = -30,93UG^2 + 10,959UG + 0,9163$	0,87	0,14 ^{NS}
<i>SPD10</i>	$Ds = -60,176UG^2 + 20,105UG - 0,0837$	0,87	10,18*
<i>SPC</i>	$Ds = -120,81UG^2 + 33,376UG - 0,4351$	0,96	8,78*
<i>Tratamento</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0,10-0,20m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -48,025UG^2 + 15,839UG + 0,4536$	0,75	3,90 ^{NS}
<i>SPD6</i>	$Ds = -111,07UG^2 + 34,948UG - 0,9275$	0,72	2,66 ^{NS}
<i>SPD8</i>	$Ds = -70,527UG^2 + 19,803UG + 0,482$	0,93	6,10 ^{NS}
<i>SPD10</i>	$Ds = -89,2UG^2 + 30,814UG - 0,8826$	0,85	0,46 ^{NS}
<i>SPC</i>	$Ds = -30,169UG^2 + 11,552UG + 0,7522$	0,80	0,20 ^{NS}
<i>Tratamento</i>	<i>Equação</i>	R^2	<i>F</i>
<i>0,20-0,30m</i>			
<i>MN</i>	$Ds = -93,713UG^2 + 31,318UG - 0,8119$	0,92	1,59 ^{NS}
<i>SPD6</i>	$Ds = -130,38UG^2 + 36,256UG - 0,6306$	0,96	6,53 ^{NS}
<i>SPD8</i>	$Ds = -134,12UG^2 + 39,44UG - 1,0256$	0,92	7,91*
<i>SPD10</i>	$Ds = -71,365UG^2 + 25,012UG - 0,4437$	0,76	2,12 ^{NS}
<i>SPC</i>	$Ds = -58,915UG^2 + 23,105UG - 0,3798$	0,75	0,45 ^{NS}

MN: mata nativa, SPD6: sistema plantio direto com 6 anos, SPD8: sistema plantio direto com 8 anos, SPD10: sistema plantio direto com 10 anos e SPC: sistema de preparo convencional no Latossolo Vermelho. **, * Significativos a 1 e 5 %, respectivamente. NS: não significativo.

A MN e o SPD8 apresentaram menor e maior valor de $Ds_{máx}$, respectivamente em comparação com os demais sistemas de manejo nas camadas de 0-0,10 m e de 0,10-0,20 m, pois segundo KLEIN (2008) quanto maior o teor de matéria orgânica do solo (MO) menor é a $Ds_{máx}$ devido ao efeito positivo na estabilidade estrutural do solo e sendo que a MO apresenta baixa densidade em comparação ao dos sólidos do solo.

SPD10 teve o maior valor de conteúdo de água ($U_{gc} = 0,17$; 0,17 e 0,18 $kg\ kg^{-1}$) em comparação com os demais sistemas de plantio direto na camada de 0-0,10; 0,10-

0,20m e 0,20-0,30 m, respectivamente. Isso significa que deve-se evitar o tráfego de máquinas sobre o solo nessa umidade. Assim, espera-se que os outros tratamentos tenham problemas de compactação a menores conteúdos de água no solo.

Os valores de Dsr ótima (Tabela 17) para a produtividade do milho no campo ocorreu na camada de 0-0,10m (entre 0,79 a 0,96) e são valores críticos segundo BEUTLER et al. (2008), os quais em um Latossolo Vermelho, observaram que a produtividade de milho decresceu a partir da Dsr de 0,81. Resultados semelhantes foram confirmados por REICHERT et al. (2007) analisando um grupo de dados de densidade do solo crítico, constataram-se que a Dsr na qual o sistema radicular das plantas teve o seu crescimento afetado situou-se entre 0,90 e 0,95.

Tabela 17. Densidade relativa (Dsr) de um Latossolo Vermelho nos diferentes tratamentos no cultivo do milho (2009/10)

camadas (m)	MN	SPD6	SPD8	SPD10	SPC
	Dsr				
0-0,10	0,76	0,95	0,95	0,96	0,79
0,10-0,20	0,93	0,97	0,94	0,99	0,91
0,20-0,30	0,88	0,91	0,96	0,99	0,90

2.4. Condutividade hidráulica saturada, Curvas de retenção de água e Índice S

Maiores valores de condutividade hidráulica foram verificados no solo sob MN (Figura 14), porém esse tratamento somente foi superior e diferiu do SPD10, mesmo assim concordou com os resultados obtidos por STONE et al. (2002), o que pode ser atribuído à maior quantidade de poros nesse sistema. Contudo, o SPC foi o manejo que teve valor mais próximo da MN e isso justifica-se de acordo com PRANDO et al. (2010), que pesquisando a infiltração de água em um Nitossolo Vermelho distrófico a 0,20 m de profundidade sob escarificação e rotação de culturas observaram que o manejo do solo com escarificação proporcionou maior infiltração de água no primeiro ano (85 cm h^{-1}) comparada à do segundo ano (61 cm h^{-1}).

Em Latossolo Vermelho-Amarelo SILVA & KATO (1997), constataram diferenças importantes na condutividade hidráulica saturada do solo sob plantio direto e sob manejo convencional, mostrando que pequenas diferenças na macroporosidade foram acompanhadas por elevadas diferenças de valores de condutividade hidráulica. Para STONE et al. (2002), o efeito da compactação na redução do tamanho dos poros que efetivamente transportam água, explica a redução da condutividade hidráulica com o aumento da densidade do solo.

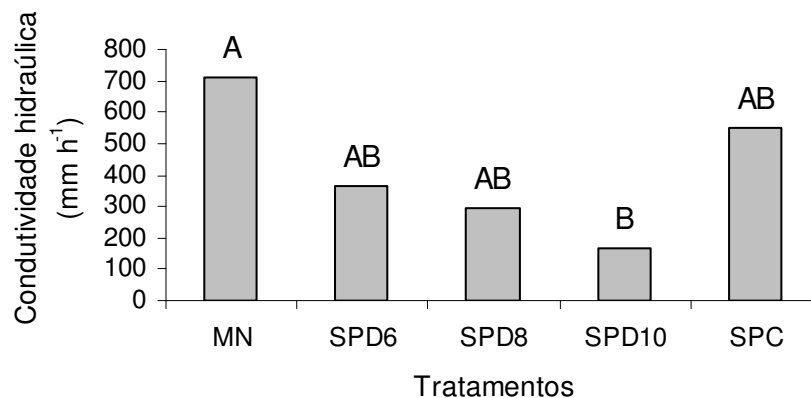


Figura 14. Condutividade hidráulica de um Latossolo Vermelho submetido na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD10) e sistema de preparo convencional (SPC) até 0,15 m de profundidade. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) (CV= 30,50%).

A maior retenção de água no SPD10 nas tensões superiores a 0,006 MPa (Figura 15), foi devido à maior microporosidade observada nesse tratamento (Tabela 14), concordando com ARAÚJO et al. (2004) que constataram aumento na retenção de água do solo com o aumento de poros de menor diâmetro. Segundo REICHERT et al. (2007), a microporosidade é responsável pela retenção de água no solo, enquanto a macroporosidade é responsável pela aeração e drenagem de água. BEUTLER et al. (2002), estudando a retenção de água em Latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo, verificaram que os solos sob cultivo apresentaram maior retenção de água, em todas as tensões de água no solo, em comparação ao solo sob MN.

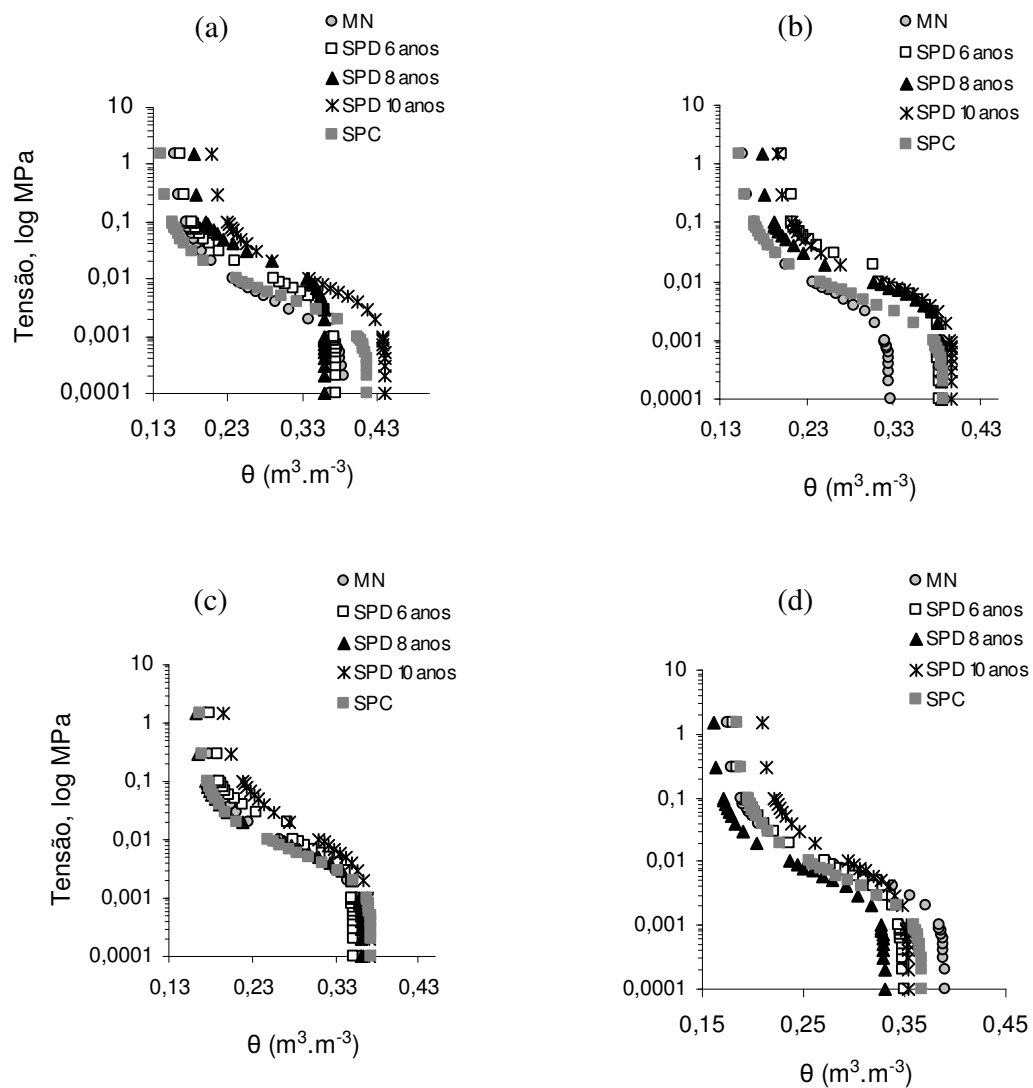


Figura 15. Curvas de retenção de água de um Latossolo Vermelho em diferentes camadas. 0-0,05 m; (b) 0,05-0,10 m; (c) 0,10-0,20 m e (d) 0,20-0,30 m no cultivo do milho (2009/10)

Resultados verificados por DALMAGO et al. (2009) também constataram que o maior tempo de implantação do sistema plantio direto (sete anos nas camadas mais próximas à superfície e em potenciais matriciais mais elevados) refletiu em maior retenção de água no solo em comparação com o preparo convencional. Os melhores níveis de qualidade estrutural do solo foram verificados, por meio do índice S, na camada 0-0,05 m, no solo sob SPC (Figura 16), por causa do revolvimento do solo que implica em elevada macroporosidade.

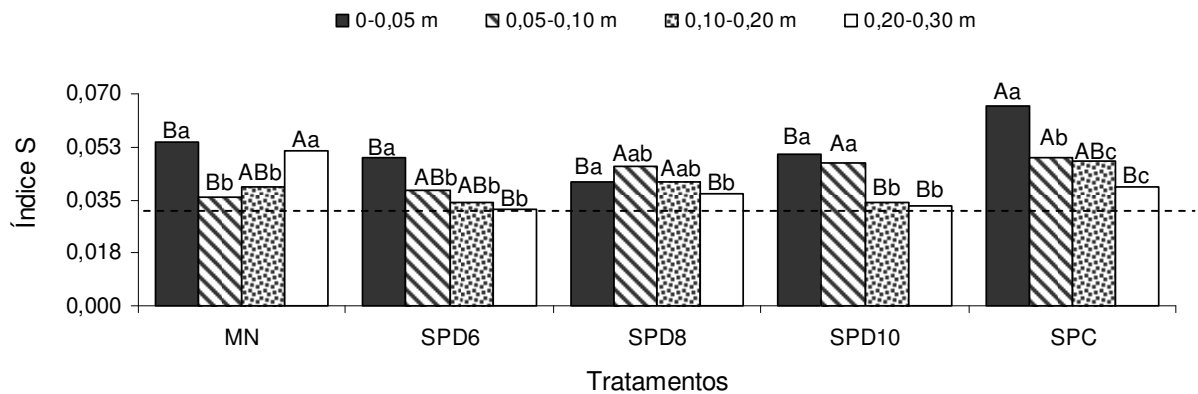


Figura 16. Índice S na mata nativa (MN), sistema plantio direto com 6 anos (SPD 6), sistema plantio direto com 8 anos (SPD 8), sistema plantio direto com 10 anos (SPD 10) e sistema preparo convencional (SPC), referentes às camadas de 0-0,05 m; 0,05-0,10 m; 0,10-0,20 m; 0,20-0,30 m do Latossolo Vermelho. Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). CV=19,75% (parcela) e CV=9,98% (subparcela).

Verifica-se que, na maioria das camadas de determinados tratamentos, os valores do índice S foram iguais ou superiores a 0,035, valor este estipulado como sendo o limite para um solo não degradado (DEXTER, 2004). A minoria das camadas nesse estudo se ajustaram a valores de $S = 0,045$, os quais segundo STONE & ANDRADE (2009) trabalhando com solos do cerrado brasileiro verificaram que esse foi o limite adequado de S para a divisão entre solo de boa qualidade estrutural e solo com tendência a se tornar degradado, enquanto segundo esses autores valores de $S \leq 0,025$ indicaram solos inteiramente degradados fisicamente.

Esses resultados discordam em partes daqueles obtidos por NETTO et al. (2007) em um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo, os quais verificaram que esse comportamento não foi observado em um Latossolo Vermelho argiloso, mesmo expondo-o à perda de sua qualidade física devido ao tráfego de máquinas e equipamentos.

3.5. Resistência do solo à penetração e Produtividade da cultura do milho

Como a resistência do solo à penetração varia inversamente ao conteúdo de água do solo, foi realizado o monitoramento do teor de água no solo até a profundidade de 0,20 m durante todo o ciclo da cultura do milho, para determinar a resistência do solo à penetração durante o ciclo da cultura nas camadas de 0-0,05 m e 0,10-0,20 m (Tabela 18).

Tabela 18. Regressão entre a umidade volumétrica de água (UV) e a resistência do Latossolo Vermelho à penetração (RP) nos diferentes tratamentos no cultivo do milho (2009/10)

Tratamentos	Camadas		
	0-0,05 m		
SPD6	RP = $1,68e^{-0,0094UV}$	R ² =0,61	F=4,52 ^{NS}
SPD8	RP = $5,44e^{-0,065UV}$	R ² =0,77	F=0,23 ^{NS}
SPD10	RP = $1,53e^{-0,0087UV}$	R ² =0,77	F=0,01 ^{NS}
SPC	RP = $2,83e^{-0,049UV}$	R ² =0,82	F=1,14 ^{NS}
0,10-0,20 m			
SPD6	RP = $4,53e^{-0,046UV}$	R ² =0,71	F=1,57 ^{NS}
SPD8	RP = $3,79e^{-0,05UV}$	R ² =0,64	F=1,75 ^{NS}
SPD10	RP = $2,15e^{-0,17UV}$	R ² =0,63	F=4,27 ^{NS}
SPC	RP = $5,27e^{-6,93UV}$	R ² =0,92	F=0,54 ^{NS}

MN: mata nativa, SPD6: sistema plantio direto com 6 anos, SPD8: sistema plantio direto com 8 anos, SPD10: sistema plantio direto com 10 anos e SPC: sistema de preparo convencional no Latossolo Vermelho. NS: não significativo.

A cultura do milho pode sofrer reduções na produção de grãos quando há déficit hídrico no período crítico da cultura, que ocorre desde o pendoamento até o início de enchimento de grãos, ou seja, o período compreendido entre 60 e 80 dias após a emergência (BERGAMASCHI et al., 2004).

Pode-se observar na Figura 17, que no período crítico da cultura do milho o teor de água no solo não contribuiu com valores de resistência do solo à penetração acima de 2,5 MPa em todos os tratamentos. Dessa forma, os resultados desse ano agrícola discordam de TORMENA & ROLOFF (1996), os quais afirmam que valores de resistência do solo à penetração acima de 2,0 MPa são considerados impeditivos para o crescimento de raízes no solo. Embora, aos meados de 30 a 40 dias após a emergência do milho os tratamentos SPD8 e SPC tiveram valores de RP em torno de

3,5 MPa, provavelmente esse período de baixa umidade deve ter influenciado na produtividade da cultura.

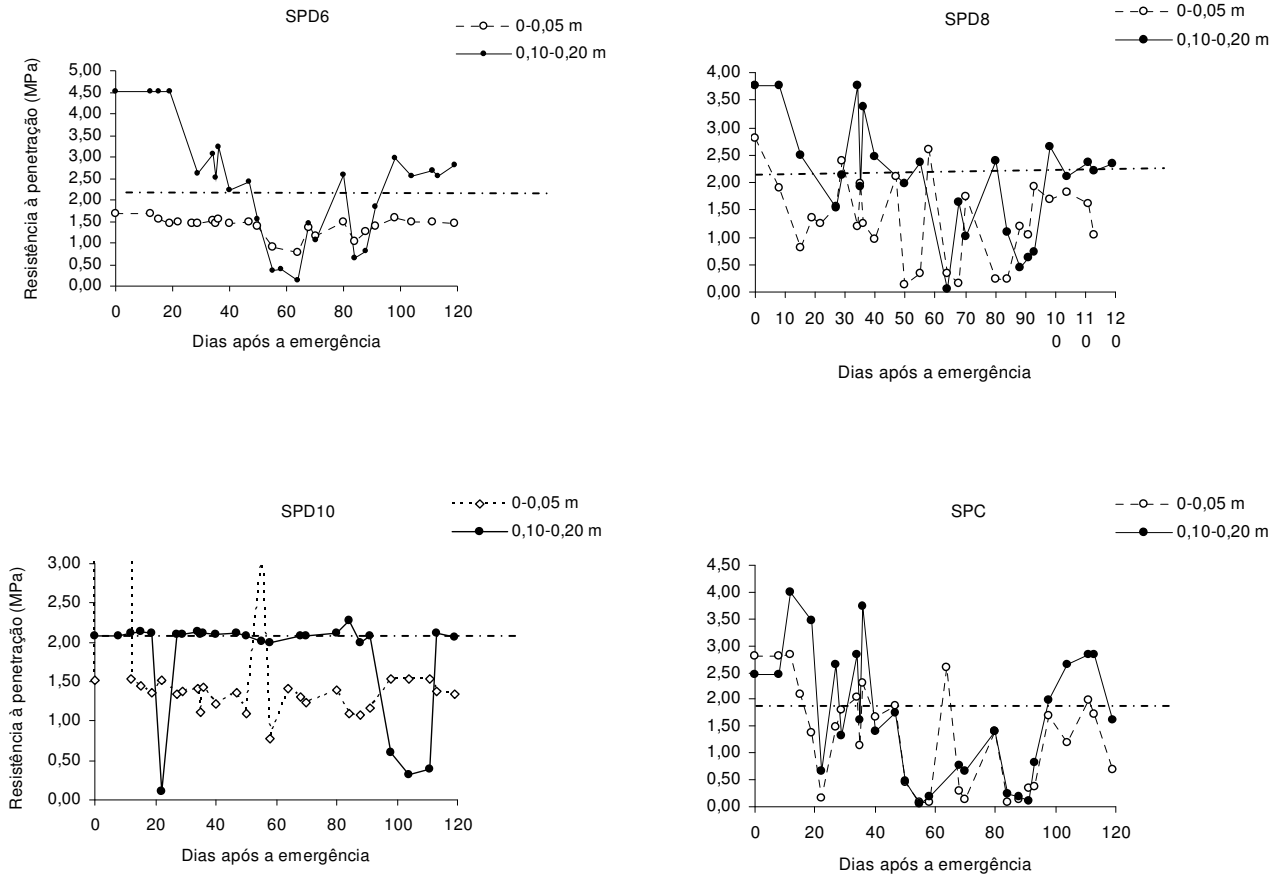


Figura 17. Variação da resistência do Latossolo Vermelho à penetração em função do conteúdo de água no solo, em diferentes camadas e tipos de manejo durante o ciclo da cultura do milho (2009/10)

Na Tabela 19, pode-se verificar que todos os tratamentos avaliados superaram a produtividade média nacional do milho, que segundo feita pela CONAB (2010) na safra 2009/10, foi de 5.275 kg ha⁻¹.

Tabela 19. Altura da planta, altura de inserção da 1ª espiga, diâmetro do colmo e produtividade média de plantas de milho nos diferentes tratamentos

Tratamentos	altura da planta m	inserção da 1ª espiga m	diâmetro do colmo mm	produtividade kg ha ⁻¹
<i>SPD6</i>	2,35 b	1,07 ab	19,19 a	8489,03 ab
<i>SPD8</i>	2,40 b	1,03 b	18,98 a	9109,08 ab
<i>SPD10</i>	2,35 b	1,11 ab	19,45 a	9587,86 a
<i>SPC</i>	2,63 a	1,19 a	20,42 a	7439,74 b
CV (%)	5,77	7,74	6,83	14,67

O SPC teve uma produtividade média inferior e diferiu estatisticamente apenas do SPD 10, porém não se observou déficit hídrico de acordo com a Figura 9 e valores de resistência do solo à penetração não foram impeditivos durante o ciclo da cultura. O que pode ter contribuído para a menor produtividade no SPC foi a perda de solo e nutrientes devido à erosão hídrica. De acordo com SILVA et al. (2005b), no sistema plantio direto, em média, as perdas de solo são menores do que as observadas no preparo convencional, possivelmente devido à cobertura oferecer proteção contra o impacto das gotas de chuva e, ainda, ao fato de o solo ser menos resistente ao escoamento devido ao preparo.

Nos sistemas de plantio direto embora não tenha ocorrido diferença estatística, observou-se um acréscimo na seguinte ordem em kg ha⁻¹ SPD 10 (9.587,86); SPD 8 (9.109,08) e SPD 6 (8.489,03). O plantio direto mostrou produtividade média maior que a do preparo convencional.

4. CONCLUSÕES

Ano agrícola de 2008/09

A qualidade física do solo sob preparo convencional de acordo com o índice S foi superior à do solo sob o sistema plantio direto.

O sistema plantio direto de 7 anos teve maior produtividade e mostrou diferença significativa com o sistema convencional.

Na camada superficial o sistema de plantio direto apresentou maior agregação quantificados com os valores de DMG e DMP.

Ano agrícola de 2009/10

O sistema de preparo convencional teve uma produtividade média inferior e diferiu estatisticamente apenas do sistema plantio direto de dez anos, porém não observou-se déficit hídrico e nem valores de resistência do solo à penetração foram impeditivos durante o ciclo da cultura.

O índice S mostrou variação em função dos sistemas de manejo e foi sempre superior ao valor considerado limite para a boa qualidade física do solo.

_____ **CAPÍTULO 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ABREU, S.L.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R.; DALVAN, J.R.; BLUME, E. Variabilidade espacial de propriedades físico-hídricas do solo, da produtividade e da qualidade de grãos de trigo em Argissolo Franco Arenoso sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.33, n.2, p. 275-282, 2003.

ALBUQUERQUE, J. A.; ARGENTON, J., BAYER, C.; WILDNER, L. P.; KUNTZE, M. A. G. 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, n.3, p.415-424, 2005.

ALBUQUERQUE, J.A. SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v 25, n.3, p.717-723, 2001.

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

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.

ASSIS, R.L.; LANÇAS, K.P. Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.30, n.1, p.58-66, 2010.

BANZATTO, D.A.; KRONKA, S.N. *Experimentação agrícola*. 2. ed. Jaboticabal: Funep, 1992. 247p.

BARBER, R.G.; ORELLNAN, M.; NAVARRO, F.; DIAZ, O.; SORUCO, M.A. Effects of conservation and conventional tillage systems after land clearing on soil properties and crop yield in Santa Cruz, Bolívia. *Soil and Tillage Research*, Madison, v.38, p. 133-152, 1996.

BAVER, L.D.; GARDNER, W.H.; GARDNER, W.R. *Física de suelos*. México: C.R.A.T./A.I.D., 1973. 529p.

BEAR, J. *Hydraulics of groundwater*. New York: McGraw-Hill Inc 1979, 569p.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; BERGONCI, J.I.; BIANCHI, C.A.M.; MULLER, A.G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.9, p.831-839, 2004.

BERTOL, I.; ALBUQUERQUE, J.A.; LEITE, D.; AMARAL, A.J.; ZOLDAN JUNIOR, W. A. 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, v.28, p.155-163, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F. Resistência à penetração em latossolos: valor limitante à produtividade de arroz de sequeiro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p. 1793-1800, 2004.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C.; SILVA, A.P. Efeito da compactação na produtividade de cultivares de soja em Latossolo Vermelho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.5, p.787-794, 2006.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; ROQUE, C.G.; FERRAZ, M.V. Densidade relativa ótima de Latossolos Vermelhos para a produtividade de soja. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.6, p.843-849, 2005.

BEUTLER, A.N.; CENTURION, J.F.; SOUZA, Z.M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C.G. Retenção de água em dois tipos de Latossolos sob diferentes tipos de uso. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.3, p.829-834, 2002.

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

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

BRAIDA, J. A., REICHERT, J. M.; VEIGA, M.; REINERT, D. J. Resíduos vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.4, p.605-614, 2006.

CAMARA, R. K.; KLEIN, V. A. Propriedades físico-hídricas do solo sob plantio direto escarificado e rendimento da soja. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.4, p.813-819, 2005.

CARPENEDO, V.; MIELNICZUK, J. Estado de agregação e qualidade de agregados de Latossolos Roxos, submetidos a diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 14, n.1, p.99-105, 1990.

CARVALHO, M.A.C., ATHAYDE, M.L.F.; SORATTO, R.P.; ALVES, M.C.; SÁ, M.E. Adubação verde e sistemas de manejo do solo na produtividade do algodoeiro. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.9, n.12, p.1205-1211, 2004.

CARVALHO, G. J.; CARVALHO, M. P.; FREDDI, O. S.; MARTINS, M. V. Correlação da produtividade do feijão com a resistência à penetração do solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.3, p.765-7871, 2006.

CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies on fine sandy loams. *Canadian Journal of Soil Science*, Ottawa, v.70, p.425-433, 1990.

CARTER, M.R. Organic matter and sustainability. In: REES, B.C.; BALL, B.C.; CAMPBELL, C.D.; WATSON, C.A.; eds. Sustainable management of soil organic. Wallingford, CAB International, 2001. p.9-22.

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 sistema plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.22, p.527-538, 1998.

CIOTTA, M.N.; BAYER, C.; ERNANI, P.R.; FONTOURA, S.M.V.; ALBUQUERQUE, J.A. WOBETO, C. Acidificação de um Latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.26, n.4, p.1055-1064, 2002.

CONAB. *Acompanhamento da safra Brasileira de grãos (safra 2008/2009)*. Brasília, 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conaweb/safra/3graos-08.09.pdf>> Acesso em: 2 jun. 2009.

CONAB. *Acompanhamento da safra Brasileira de grãos (safra 2009/2010)*. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/safra/1graos-09.10.pdf>> Acesso em: 24 ago. 2010.

COELHO, A.M.; CRUZ, J.C.; PEREIRA FILHO, I.A. *Desafios para obtenção de altas produtividades*. Sete Lagoas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2004. 20p. (Comunicado Técnico, 99).

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

COSTA, E.A.; GOEDERT, W.J.; SOUZA, D.M.G. Qualidade de solo submetido a sistemas de cultivo com preparo convencional e plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.41, n.7, p.1185-1191, 2006.

CUNHA, J.P.A.R.; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. Resistência do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água. *Engenharia na Agricultura*, Viçosa, v.10, p.1-4, 2002.

CUNHA, E. de Q.; BALBINO, L.C.; STONE, L.F.; LEANDRO, W.M.; OLIVEIRA, G.C. de. Influência de rotações de culturas nas propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho em plantio direto. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.27, n.3, p.665-674, 2007.

DALMAGO, G.A.; BERGAMASCHI, H.; BERGONCINI, J.I.; KRUGER, C.A.M.B.; COMIRAN, F.; HECKLER, B.M.M. Retenção e disponibilidade de água às plantas, em solo sob plantio direto e preparo convencional. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, v.13, n.6, p.855-864, 2009.

D'ANDREA, A.F.; SILVA, M.L.N.; CURI, N. Estoque de carbono e nitrogênio e formas de nitrogênio mineral em um solo submetido a diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.39, n.2, p.179-186, 2004.

DANIELSON, R.E.; SUTHERLAND, P.L. Porosity. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis: Physical and mineralogical methods*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part 1, p. 443-460.

DE MARIA, I.C.; NNABUDE, P.C.; CASTRO, O.M. Long-term tillage and crop rotation effects on soil chemical properties of a Rhodic Ferralsol in southern Brazil. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.51, n.1-2, p.69-77, 1999.

DEXTER, A.R. Soil physical quality: Part II. Theory. Friability, tillage, tith and hard-setting. *Geoderma*, Amsterdam, v.120, p.215-225, 2004b.

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, n.3-4, p.201-214, 2004a.

DORAN, J.W. Soil quality and sustainability. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., Rio de Janeiro, 1997. Anais. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. CD-ROM.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Tecnologias de produção de soja-região central do Brasil-2006*. Londrina: Embrapa Soja, 2005. 220p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESCOSTEGUY, P.A.V., HENKIN, D., CALDEIRA, M.H.; PIMENTEL, J.; ARNS, A.P. Resíduos culturais e resultado da análise de solo coletado com diferentes amostradores no sistema de plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.1, p. 69-75, 2005.

FIDALSKI, J.; TORMENA, C.A.; Funções de pedotransferência para as curvas de retenção de água e de resistência do solo à penetração em sistemas de manejo com plantas de cobertura permanente em citros. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.37, p.1316-1322, 2007.

FOLONI, J.S.S.; CALONEGO, J.C.; LIMA, S.L. Efeito da compactação do solo no desenvolvimento aéreo e radicular de cultivares de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.38, n.8, p.947-953, 2003.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.66, p.95-106, 2002.

FREDDI, O.S.; CARVALHO, M.P.; VERONESI JÚNIOR, V.; CARVALHO, G.J. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.1, p.113-121, 2006.

FREDDI, O.S.; CENTURION, J.F.; BEUTLER, A.N.; ARATANI, R.G.; LEONEL, C.L. Compactação do solo no crescimento radicular e produtividade da cultura do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.4, p.627-636, 2007.

GENUCHTEN, M.T.A. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Science Society of America Journal*, v.44, n.5, p.892-897, 1980.

GEE, G.W.; BAUDNER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 1- Physical and mineralogical methods*. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.383-409.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.;TORMENA, C.A. Aplicações da curva e resistência ao controle de qualidade física de um solo sob pastagem. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, 2000.

JURY, W.A.; HORTON, R. *Soil physics*. New York: John Wiley & Sons, 1991.

KEMPER, W.D.; CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK, C.A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. part 1, p.499-510.

KIEHL, E.J. *Manual de edafologia*. Relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.

KLEIN, V.A. Densidade relativa - um indicador da qualidade física de um Latossolo Vermelho. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.5, n.1, p.26-32, 2006.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L. Condutividade hidráulica de um Latossolo Roxo, não saturado, sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.32, n.6, p.945-953, 2002.

KLEIN, V.A.; CÂMARA, R.K. Rendimento da soja e intervalo hídrico ótimo em Latossolo Vermelho sob plantio direto escarificado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.2, p.221-227, 2007.

KLUTE, A. Water retention: Laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.) *Methods of soil analysis*. 2. ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. part. 1, p. 635-662.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Advances In Soil Sciences*, New York, v.1, n.1, p.277-293, 1985.

LOVATO, T., MIELNICZUK, J., BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.1, p.175-187, 2004.

MACHADO, J.A.; SOUZA, D.M.; BRUM, A.C.R. Efeito de anos de cultivo convencional em propriedades físicas do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.5, p.187-189, 1981.

MARCOLAN, A.L.; ANGHINONI, I. Atributos físicos de um Argissolo e rendimento de culturas de acordo com o revolvimento do solo em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.1, p.163-170, 2006.

MESQUITA, M.G.B.F.; MORAES, S.O. A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.3, p.963-969, 2004.

MELLO, G. de; BUENO, C.R.P.; PEREIRA, G.I. Variabilidade espacial das propriedades físicas e químicas do solo em áreas intensamente cultivadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.10, n.2, p.294-305, 2006.

NETTO, A.A.; FERNANDES, E.J.; CENTURION, J.F. Propriedades físicas e indicador de qualidade de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. *Irriga*, Botucatu, v.12, n.1, p.27-37, 2007.

NOGUEIRA, J.B. *Mecânica dos solos*. Ensaio de Laboratório. São Carlos, EESC-USP, 1998. 248p.

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

PRANDO, M.B.; OLIBONE, D.; OLIBONE, A.P.E.; ROSOLEM, C.A. Infiltração de água no solo sob escarificação e rotação de culturas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.34, p.693-700, 2010.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L.; RODRIGUES, L.N.; ANTUNES, V.L. *Infiltração de água no solo*. [S.1.;s.n.], 1997. 26p. (Caderno didático, 25).

RAIJ, B.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, 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.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: Identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. In: CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; REICHERT, J.M. (Eds.) *Tópicos em ciência do solo*. 5. ed. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.49-134.

REICHERT, K. *Dinâmica da matéria e de energia em ecossistemas*. 2 ed. Piracicaba, SP: USP/ESALQ. 1996. 505 p.

RIBEIRO, K.A.; OLIVEIRA, T.S.; MENDONÇA, E.S.; XAVIER, F.A.S.; MAIS, S.M.F.; SOUSA, H.H.F. Qualidade do solo na cultura do cajueiro anão precoce cultivado sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.31, n.2, p.341-351, 2007.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, 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 measurements and sampling*. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p. 128-152.

ROSA, M.E.C., OLSZEWSKI, N., MENDONÇA, E.S.; COSTA, L.M.; CORREIA, J.R. Formas de carbono em Latossolo Vermelho Eutroférico sob plantio direto no sistema biogeográfico do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.27, n.5, p.911-923, 2003.

ROSOLEM, C.A.; FERNANDEZ, E.M.; ANDREOTTI, M.; CRUSCIOL, C.A.C. Crescimento radicular de plântulas de milho pela resistência do solo à penetração. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.34, n.5, p.821-828, 1999.

SALTON, J.C. Indicadores de qualidade do solo em sistemas de integração lavoura-pecuária. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA- MERCOSOJA, 2009, Goiânia. *Palestras....Londrina: Embrapa- soja- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*, 2009. 1 CD-ROM.

SALTON, J.C.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; BOENI, M.; CONCEIÇÃO, P.C.; FABRÍCIO, A.C.; MACEDO, M.C.M.; BROCH, D.L. Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.32, n.1, p.11-21, 2008.

SECCO, D.; DA ROS, C.O.; SECCO, J.K.; FIORIN, J.E. Atributos físicos e produtividade de culturas em um Latossolo Vermelho argiloso sob diferentes sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; DA ROS, C.O. Produtividade de soja e propriedades físicas de um Latossolo submetido a sistemas de manejo e compactação. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.5, p.797-804, 2004.

SILVA, A.P.; KAY, B.D.; PERFECT, E. Management versus inherent soil properties effects on bulk density and relative compaction. *Soil and Tillage Research*, Amsterdam, v.44, n.1-2, p.81-93, 1997.

SILVA, M.A.; MAFRA, Á.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.35, n.2, p.544-552, 2005a.

SILVA, C.G.; ALVES SOBRINHO, T.; VITORINO, A.C.T.; CARVALHO, D.F. Atributos físicos, químicos e erosão entressulcos sob chuva simulada, em sistemas de plantio direto e convencional. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.25, n.1, p.144-153, 2005b.

SILVA, C.L.; KATO, E. Efeitos do selamento superficial na condutividade hidráulica saturada da superfície de um solo sob cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.32, n.2, p.213-220, 1997.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, Á.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; ROSA, J.D.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.30, n.2, p.329-337, 2006.

SILVA, M.L.N.; CURTI, N.; BLANCANEUX, P. Sistemas de manejo e qualidade estrutural de um Latossolo Roxo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.35, n.12, p.2485-2492, 2000.

SILVA, V.R.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Resistência mecânica do solo à penetração influenciada pelo tráfego de uma colhedora em dois sistemas de manejo do solo. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.30, p. 795-801, 2000.

STONE, L.F.; GUIMARAES, C.M.; MOREIRA, J.A.A. Compactação do solo na cultura do feijoeiro. I: efeitos nas propriedades físico-hídricas do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.6, n.2, p.207-212, 2002.

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, n.2, p.395-401, 2001.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.; GUIMARÃES, M.F.; FONSECA, I.C.B. Resistência à penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.25, n.3, p.725-730, 2001.

TAVARES FILHO, J.; FONSECA, I.C.B.; RIBON, A.A.; BARBOSA, G.M.C. Efeito da escarificação na condutividade hidráulica saturada de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.36, n.3, p.996-999, 2006.

TAYLOR, H.M.; ROBERTSON, G.M.; PARKER, J.J. Soil strength root penetration for medium to coarse textured soil materials. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v. 102, p.18-22, 1966.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G. Dinâmica da resistência à penetração de um solo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.20, n.2, p.333-339, 1996.

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, n.4, p.573-581, 1998.

TORMENA, C.A.; FRIEDRICH, R.; PINTRO, J.C.; COSTA, A.C.S.; FIDALSKI, J. Propriedades físicas e taxa de estratificação de carbono orgânico num Latossolo Vermelho após dez anos sob dois sistemas de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.6, p.1023-1031, 2004.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; IMHOFF, S.C.; DEXTER, A.R. Quantification of the soil physical quality of a tropical Oxisol using the S index. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.65, n.1, p.56-60, 2008.

ZALAMENA, J.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P.; MEDEIROS, P. S. C.; FINK, J.; DOTTO, A. C.; COUTO, M. R. M.; DENEGA, G. L. Distribuição de agregados em um Argissolo Vermelho sob diferentes usos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. *Resumos...Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, 2007. 1 CD-ROM.

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

WOHLENBERG, E.V.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BLUME, E. Dinâmica da agregação de um solo franco-arenoso em cinco sistemas de culturas em rotação e em sucessão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v.28, n.5, p.891-900, 2004.

YOODER, R.E. A direct method of aggregate analyses soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of American Society of Agronomy*, Madison, v.28, n.5, p.337-351, 1936.