

UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO
MANEJO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM
AMBIENTE AMAZÔNICO**

LENITA APARECIDA CONUS VENTUROSO

**DOURADOS
MATO GROSSO DO SUL
2014**

**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E
SUCESSÃO DE CULTURAS EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

LENITA APARECIDA CONUS VENTUROSO
Engenheira Agrônoma

Orientador: PROF. DR. ANTONIO CARLOS TADEU VITORINO

Co-Orientador: PROF. DR. JAIRO ANDRÉ SCHLINDWEIN

Tese apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, para obtenção do título de Doutor.

Dourados
Mato Grosso do Sul
2014

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V469a	<p>Venturoso, Lenita Aparecida Conus. Atributos físicos do solo em função do manejo e sucessão de culturas em ambiente amazônico. / Lenita Aparecida Conus Venturoso. – Dourados, MS: UFGD, 2014. 59f.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal da Grande Dourados.</p> <p>1. Plantio direto. 2. Subsolagem. 3. Densidade do solo. 4. Estabilidade de agregados. I. Título.</p> <p>CDD – 631.4</p>
-------	--

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.

©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.

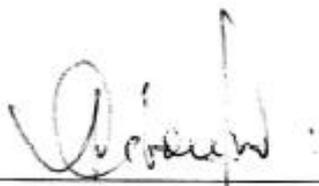
**ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E
SUCESSÃO DE CULTURAS EM AMBIENTE AMAZÔNICO**

por

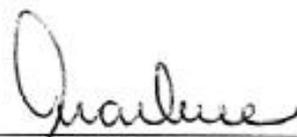
Lenita Aparecida Conus Venturoso

Tese apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título de
DOUTOR EM AGRONOMIA

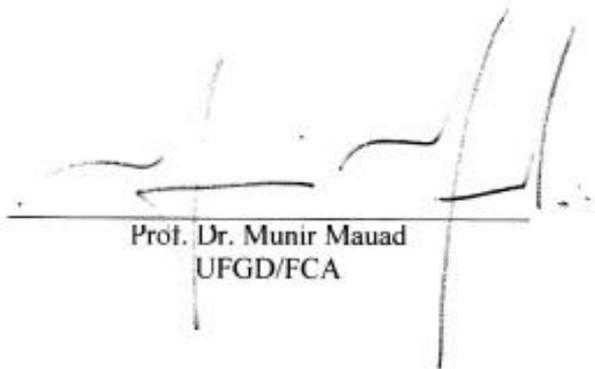
Aprovada em: 26/02/2014



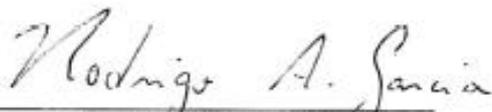
Prof. Dr. Antonio Carlos Tadeu Vitorino
Orientador – UFGD/FCA



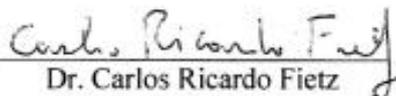
Prof. Dr. Márlene Estevão Marchetti
UFGD/FCA



Prof. Dr. Munir Mauad
UFGD/FCA



Dr. Rodrigo Arroyo Garcia
EMBRAPA/CPAO



Dr. Carlos Ricardo Fietz
EMBRAPA/CPAO

A Deus e a Nossa Senhora Aparecida, por me fortalecerem nos momentos de fraqueza e guiarem meus caminhos na realização dos meus sonhos.

OFEREÇO

DEDICO

A minha família...

Minha mãe e amiga Maria Helena por ter me dado à vida, amor, compreensão e por não medir esforços para a realização dos meus sonhos.

Meu esposo Luciano pela ajuda e dedicação incondicional na realização dessa tese, por toda a força e incentivo para que eu jamais desistisse de lutar, e pelo imenso amor e companheirismo que nos uni há dez anos.

Meus queridos sogros Lorival e Elisabete, e cunhadas Camila e Larissa por todo apoio, ajuda e esforços dedicados na realização dessa tese, e por terem me acolhido com muito carinho nessa família.

Meu irmão Daniel pelo amor, orgulho e apoio em todos os momentos.

Minha amada e linda filha Livia que chegou trazendo luz e alegria a todas as etapas dessa caminhada, me ensinando o verdadeiro sentido da vida.

... Sem vocês eu jamais conseguiria!!!

AGRADECIMENTOS

Ao professor Antonio Carlos pela orientação, confiança na condução da tese, paciência com as inúmeras dúvidas, ensinamentos e exemplos para minha vida profissional.

Aos professores Jairo André e Elaine pela co-orientação e autorização na participação do experimento.

Ao grande amigo Bruno pelo apoio, parceria e por estar disponível a ajudar em todos os momentos.

Aos amigos e padrinhos Grazieli e Marcelo pelo incentivo, acolhida em Dourados e momentos de descontração.

Aos amigos Carol, Daniel, Anderson, Fábio e Mirianny que mesmo à distância, continuam me incentivando sempre.

Aos primos da vila Daniely, Leandro, Quezia, Mayko, Jamile e Wanisley pela amizade que me deu forças no início em Ariquemes.

Aos meus colegas de trabalho Lucas, Osvino e Uberlando que me ajudaram nas aulas e nos momentos de ausência para a realização das atividades da tese.

Aos meus “alunos-filhos” do IFRO pelo auxílio na realização das análises laboratoriais.

A CAPES pela bolsa concedida.

Aos demais amigos, professores e funcionários da Faculdade de Ciências Agrárias da UFGD.

A Lúcia secretária do programa de Pós-Graduação em Agronomia.

A Universidade Federal da Grande Dourados e a Universidade Federal de Rondônia pela oportunidade de realização desta pesquisa.

SUMÁRIO

	PÁGINA
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. Uso e manejo dos solos em Rondônia.....	11
2.2. Sistemas de manejo e a qualidade física do solo.....	12
2.2.1. Preparo do solo.....	12
2.2.2. Plantio direto.....	13
2.2.3. Sucessão de culturas.....	15
2.3. Indicadores de qualidade física do solo.....	16
2.3.1. Densidade do solo.....	16
2.3.2. Porosidade do solo.....	19
2.3.3. Estabilidade de agregados.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
4.1. Safra 2011/2012.....	28
4.1.1. 1º época de amostragem do solo: semeadura.....	28
4.1.2. 2º época de amostragem do solo: colheita.....	34
4.2. Safra 2012/2013.....	37
4.2.1. 1º época de amostragem do solo: semeadura.....	37
4.2.2. 2º época de amostragem do solo: colheita.....	43
5. CONCLUSÕES.....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50
APÊNDICES.....	58

ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO EM FUNÇÃO DO MANEJO E SUCESSÃO DE CULTURAS EM AMBIENTE AMAZÔNICO

RESUMO: O trabalho teve por objetivo avaliar os atributos físicos em diferentes sistemas de manejo do solo, cultivados com soja e milho no verão em sucessão a cultura do milho ou feijão na região da Zona da Mata de Rondônia. O trabalho foi realizado considerando dois experimentos consecutivos por duas safras, 2011/2012 e 2012/2013, na Universidade Federal de Rondônia, em Rolim de Moura, RO. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico argiloso. Em cada safra, os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas foram alocados os sistemas de manejo do solo, sendo na safra 2011/12: PC (preparo convencional); PC+S (preparo convencional com uma operação de subsolagem); PD (plantio direto); e PD+S (plantio direto com uma operação de subsolagem no quarto ano, coincidindo com o ano de instalação do experimento); e na safra 2012/13: PC (preparo convencional), PC+S (preparo convencional com uma operação de subsolagem), PD (plantio direto) e o PD+SA (plantio direto com subsolagem realizada em 2011). As subparcelas foram constituídas pelas mesmas sucessões de culturas nas duas safras: SF (soja/feijão); SM (soja/milho); MF (milho/feijão); e MM (milho/milho). As amostras de solos foram realizadas nas profundidades de 0,0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, sendo determinados os atributos físicos: densidade do solo, macro e microporosidade, porosidade total e estabilidade de agregados. Não há necessidade de mobilização do solo, mesmo que esporadicamente, com subsolador no sistema de plantio direto. O plantio direto apresenta maior estabilidade de agregados, independentemente da sucessão de cultura utilizada. Os sistemas com revolvimento do solo apresentam condições físicas favoráveis após a mobilização do solo, no entanto, retornam rapidamente as condições restritivas para o desenvolvimento das plantas. Os sistemas convencionais de manejo do solo são mais dependentes das espécies vegetais em sucessões de culturas para melhorarem os atributos físicos do solo. A sucessão de culturas favoreceu os sistemas de manejos do solo.

Palavras-chave: plantio direto; subsolagem; densidade do solo; estabilidade de agregados

**THE SOIL PHYSICAL ATTRIBUTES ACCORDING TO THE
MANAGEMENT AND SUCCESSION OF CROPS AT
AMAZON ENVIRONMENT**

ABSTRACT: This study aimed to evaluate the physical attributes in different systems of soil management, cultivated with soybean and corn in the summer in succession to corn or beans in the region zone the mata of Rondônia. The study was conducted considering two consecutive experiments for two seasons, 2011/2012 and 2012/2013, the Universidade Federal de Rondônia, in Rolim de Moura, RO. The soil was classified as Oxisol Haplustox. Every season, the experiments were conducted in a randomized block design, with a split plot scheme, with three replications. In the plots of soil management systems were allocated, being the season 2011/12: PC (conventional tillage); PC+S (conventional tillage with subsoiling operation); PD (no tillage); and PD+S (no tillage with subsoiling operation in the fourth year, coinciding with the year of the experiment); and season 2012/13: PC (conventional tillage), PC+S (conventional tillage with subsoiling operation), PD (no tillage) and PD+SA (no tillage with subsoiling conducted in 2011). The subplots were composed of the same succession of crop in two seasons: SF (soybean/beans); SM (corn/soybean); MF (corn/beans); and MM (corn/corn). Soil samples were performed at the depths from 0.0 to 0.05 and 0.05 to 0.10 m, being determined the physical attributes: soil bulk density, soil macro and microporosity, total soil porosity and aggregate of stability. No need for soil mobilization, even occasionally, with the subsoiler no tillage system. This no tillage had higher aggregate stability, independently of the succession of crop used. The soil tillage systems have favorable physical conditions after soil mobilization, however, quickly return the restrictive conditions for plant growth. Conventional soil management systems are more dependent on of the plant species in crop successions for improving the soil physical attributes. The succession of crops favored soil management systems.

Index terms: no tillage; subsoiling; soil bulk density; aggregate of stability

1. INTRODUÇÃO

O desmatamento da Floresta Amazônica e o manejo inadequado dos solos causaram rapidamente grandes perdas de matéria orgânica, desestruturação do solo e reduções das atividades biológicas. Nesse ecossistema os efeitos da degradação são potencializados quando a floresta tropical, de baixa resiliência, é substituída por pastagens, uma vez que o ambiente edáfico é exposto ao ambiente amazônico, caracterizado pela elevada radiação solar, altas temperaturas e intensa precipitação pluvial ao longo do ano (DIAS-FILHO, 2007; SCHLINDWEIN et al., 2012).

A maior parte dos solos do Estado de Rondônia, originalmente cobertos pela Floresta Amazônica, mas com baixa fertilidade natural, apresentavam produtividades relativamente altas, devido, principalmente à ciclagem de nutrientes e a preservação da matéria orgânica, que proporcionavam melhor qualidade ao solo (SCHLINDWEIN et al., 2012). A ocupação dessas terras basicamente com a derrubada da floresta, queima da vegetação e implantação de pastagens sem nenhuma técnica de manejo do solo (FERNANDES e GUIMARÃES, 2003), constituiu-se em uma das alterações ambientais mais importantes e problemáticas dessa região. Rondônia possui pouco mais de 8 milhões de hectares cultivados, sendo a maior parte com pastagens de *Brachiaria* spp. e uma menor parte cultivada com culturas perenes e anuais (IBGE, 2012a). Das áreas utilizadas na agropecuária, raros são os casos da utilização de práticas conservacionistas de manejo do solo, fato que tem acelerado a degradação do mesmo e imposto maior pressão sobre as áreas florestais.

O preparo do solo constituiu-se na prática de manejo com maior potencial de modificação das propriedades físicas do solo, sendo seu efeito dependente do implemento utilizado, intensidade do uso e condições edafoclimáticas por ocasião das operações. O cultivo convencional, muito utilizado no Estado, com as tradicionais práticas de aração e gradagem, tem proporcionado a cada safra significativas alterações, seja nas propriedades químicas, físicas e/ou biológicas. Por outro lado, com a expansão de sistemas de manejo do solo, como o plantio direto, tem-se verificado a possibilidade de obter um sistema mais estável e melhor estruturado (JIAO et al., 2006).

Em associação às práticas de manejo do solo, destacam-se que os sistemas de cultivos, sejam por meio da rotação ou sucessão de culturas, têm proporcionado a

integração direta entre cobertura vegetal e os atributos do solo, o que segundo Silva et al. (2007) pode resultar em melhorias na qualidade do solo e aumento no rendimento das culturas.

As alterações nos atributos físicos do solo têm sido mais pronunciadas no sistema de preparo convencional, quando comparado àqueles que adotam práticas conservacionistas. Este fato está relacionado principalmente ao revolvimento do solo, que pode alterar a densidade, volume e distribuição de tamanho dos poros, assim como a estabilidade dos agregados, o que influencia diretamente na infiltração de água, erosão hídrica e no crescimento e desenvolvimento das plantas (BERTOL et al., 2004). No entanto, tem sido relatado que a utilização do plantio direto continuamente, após três a quatro anos, também tem proporcionado efeitos negativos sobre os atributos do solo, devido ao arranjo natural das partículas e pressão exercida pelo trânsito de máquinas. Esse fenômeno tem feito com que alguns agricultores, eventualmente, utilizem o escarificador ou subsolador em suas áreas sob plantio direto, o que, segundo alguns autores, pouco interferem no aspecto conservacionista de manejo do solo, já que a semeadura direta volta a ser empregada nos cultivos subsequentes (SILVEIRA NETO et al., 2006; CALONEGO e ROSOLEM, 2008; PANACHUKI et al., 2011).

Em Rondônia tem-se adotado basicamente sistemas de manejos convencionais, os quais muitas vezes são adotados de maneira inadequada e acabam perdendo sua produtividade gradativamente após alguns anos de cultivo. Ainda que se tenham utilizados plantio direto e ou sucessões de culturas, a maioria dos trabalhos tem priorizado avaliações das propriedades químicas ou biológicas do solo (CRAVO e SMYTH, 1997; NUMATA et al., 2002; MARCOLAN et al., 2009), sendo os atributos físicos apesar de alterados, pouco avaliados.

Nas condições edafoclimáticas da região Amazônica, o grande desafio tem sido desenvolver sistemas capazes de recuperar áreas degradadas e ainda conciliar, de forma harmoniosa, interesses de conservação ambiental com sustentabilidade econômica, em substituição à agricultura migratória comumente praticada. Nesse contexto, objetivou-se avaliar os atributos físicos em diferentes sistemas de manejo do solo, cultivados com soja e milho no verão em sucessão a cultura do milho ou feijão na região da Zona da Mata de Rondônia.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Uso e manejo dos solos em Rondônia

O Estado de Rondônia está localizado na região Norte (Amazônia Ocidental), possuindo 52 municípios e área de 23,76 milhões de hectares. É o 23º estado mais populoso do Brasil e o 3º quando se considera a região Norte, com aproximadamente 1,6 milhões de habitantes (IBGE, 2012b), sendo a economia baseada na pecuária, de corte e leite, na agricultura (café, soja, milho, arroz, feijão, mandioca e cacau) e no extrativismo de madeira, minérios e borracha (RONDÔNIA, 2012).

Os Latossolos e os Argissolos constituem ordens de grande expressão geográfica em Rondônia, destacando-se a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo (ADAMY, 2010). O clima predominante, segundo classificação de Köppen, é do tipo Aw, tropical chuvoso, com média anual de precipitação entre 1400 a 2600 mm, apresentando chuvas intensas nos meses de outubro a abril e escassez de chuvas entre maio a agosto, e temperatura média anual do ar variando entre 24 a 26°C (RONDÔNIA, 2012).

O grande incremento no uso da área agricultável do Estado ocorreu a partir da década de 80, quando o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) realizou a distribuição de lotes de terra para agricultores. Os lotes possuíam área entre 50 e 100 ha e os colonizadores, na maioria dos casos eram agricultores arrendatários, meeiros e de outras profissões, geralmente com baixo nível tecnológico e baixa disponibilidade de capital para realização de investimentos na agropecuária (SCHLINDWEIN et al., 2012).

A ocupação destas terras se deu basicamente pela derrubada da floresta, queima da vegetação e implantação de pastagens ou lavoura itinerante. No primeiro ano de cultivo, após a derrubada e a queima da vegetação natural, a produção forrageira e das culturas agrícolas tende a ser alta por causa da incorporação da cinza proveniente da queima da floresta ao solo. Após dois anos de lavouras, e entre três a cinco anos de pastagens, a produtividade nas áreas começam a decrescer conforme o declínio do nível da fertilidade do solo, proporcionando o abandono dessas áreas e a derrubada de nova área de floresta para estabelecimento de áreas mais produtivas em curto prazo (NUMATA et al., 2002). Ferreira (2008) salienta ainda, que a substituição das áreas de florestas por áreas com atividade agrícola, aliada a ausência

de manejo adequado, proporcionou redução da produção, erosão do solo e provocou a perda da estrutura física, matéria orgânica e conseqüentemente de grande parte da biodiversidade dos solos. Como resultado dessa ocupação, geralmente tem-se o decréscimo da matéria orgânica, bem como, a desagregação do solo, a qual provoca a dispersão das partículas finas, ocasionando a obstrução dos poros e o aumento da densidade do solo (MARCOLAN et al., 2009), condições favoráveis para o aparecimento de solos erodidos e baixas produtividades.

Para Schlindwein et al. (2012) um dos grandes desafios do manejo do solo na região Amazônica seria transformar áreas com solos degradados em áreas produtivas com potencial econômico e ecológico sustentável, ajustando a melhoria da qualidade de vida humana à capacidade de suporte do ecossistema. Desta forma, para uma utilização mais permanente desses solos e redução da taxa de desmatamento, torna-se imprescindível determinar a seqüência de culturas, assim como os sistemas de manejo de solo que proporcionem manutenção da qualidade do solo e estabilidade produtiva na região.

2.2. Sistemas de manejo e a qualidade física do solo

2.2.1. Preparo do solo

Dentre as práticas de manejo, Costa et al. (2006) enfatizam que o preparo mecânico do solo é a atividade que mais afeta as propriedades físicas, pois atua diretamente na estrutura do solo. Todavia, salientam que os efeitos são dependentes da intensidade de revolvimento, trânsito de máquinas, tipo de equipamento utilizado, manejo de resíduos vegetais e condições de umidade do solo no momento do preparo. Deste modo, o manejo incorreto de máquinas e equipamentos agrícolas pode alterar a porosidade, densidade, retenção de água, resistência mecânica e conseqüentemente a produtividade das culturas (CARNEIRO et al., 2009).

Os sistemas de manejo do solo convencionais, mediante revolvimento por arados e grades, quando adotados de forma contínua, proporcionam ao longo do tempo, maiores alterações nas propriedades físicas do que os sistemas conservacionistas de manejo do solo. Destaca-se que o manejo convencional proporciona aumento do volume de poros e da permeabilidade, facilitando o armazenamento de ar e crescimento das raízes (BERTOL et al., 2004), todavia,

abaixo desta camada, essas propriedades podem apresentar comportamento inverso ao da superfície (COSTA et al., 2003).

A substituição gradativa do preparo convencional do solo pelos sistemas conservacionistas, como o plantio direto, proporcionam mudanças na qualidade do solo. Entretanto, esses sistemas utilizados de forma contínua também podem aumentar a compactação na camada de 0,0 a 0,10 m de profundidade. Essa compactação superficial do solo tem acarretado a utilização de implementos, como grade, escarificador ou subsolador, até mesmo em áreas manejadas sob plantio direto, no intuito de promover a descompactação do solo. Cada implemento possui características próprias de trabalhar o solo, alterando de maneira diferenciada suas propriedades. As grades apresentam maior potencial de desestruturação do solo, sendo que os resíduos culturais mesmo próximos à superfície ficam bastante incorporado ao solo (FALLEIRO et al., 2003).

A subsolagem quando realizada com umidade elevada pode resultar em fendas maiores que os órgãos ativos do subsolador, enquanto no solo seco pode provocar fendas e trincas de formas triangulares, com aumento da infiltração vertical da água no solo e lixiviação de sais solúveis em profundidade (CORSINI e FERRAUDO, 1999). No entanto, o sucesso dessas operações, depende da permanência de seus efeitos nas condições estruturais do solo, relacionadas ao estado de dispersão dos colóides, composição, condições climáticas e sistemas de cultivo empregados.

2.2.2. Plantio direto

A primeira menção a respeito do plantio direto surgiu na década de 30, nos Estados Unidos, em decorrência das tempestades de poeira que levaram Edward H. Faulkner a afirmar que inexistiam razões científicas para arar o solo (BAKER et al., 1996). Já na década de 40, na Inglaterra, o plantio direto passou a ser adotado como forma de manejo, ao ser constatado que as plantas podiam crescer satisfatoriamente sem o preparo do solo (ANGHINONI, 2007).

As primeiras tentativas de adoção do sistema de plantio direto no Brasil ocorreram na região Sul, no início da década de 70. Após um período de desenvolvimento pouco expressivo, decorrente de dificuldades iniciais relacionadas com a pouca eficiência das semeadoras disponíveis, compactação do solo e

dificuldades no controle fitossanitário, houve uma grande expansão de área a partir do início da década de 90 (ANGHINONI, 2007). Com a filosofia de semeadura, que preconiza o não revolvimento do solo, o acúmulo da cobertura vegetal e a utilização de plantas em rotação de culturas, o plantio direto se tornou o sistema utilizado pela maioria dos produtores de grãos do país, ocupando atualmente uma área de 32 milhões de hectares (FEBRAPDP, 2014).

A adoção desse sistema nos agroecossistemas tropicais e subtropicais, em substituição à prática de agricultura convencional, tem-se caracterizado como um investimento na preservação dos recursos naturais e sócio-econômicos (MUZILLI, 2002), devido aos seus efeitos positivos na conservação de solos sob aspectos químicos, físicos e biológicos, na redução de custos em combustíveis e manutenção de máquinas, na menor demanda de trabalho e na melhoria da rentabilidade das explorações (BOLLIGER et al., 2006; HOBBS, 2007).

A ausência do revolvimento e a adição de resíduos das culturas provocam um fluxo contínuo de carbono no solo, o qual é responsável pelo aumento da estabilidade dos agregados na superfície, favorecendo também a infiltração de água, o que dificulta o escoamento superficial e os processos erosivos considerados causas da degradação dos solos agrícolas (COSTA et al., 2008). Oliveira et al. (2004) avaliando as alterações químicas e físico-hídricas de um Latossolo Vermelho de cerrado submetido a semeadura direta e ao preparo com arado de discos por 20 anos, observaram maiores teores de carbono orgânico no sistema de semeadura direta nos primeiros 0,10 m da superfície e concluíram que isso trouxe benefícios em termos de agregação do solo e redução na densidade.

O manejo do solo com plantio direto contínuo também tem despertado preocupação, devido ao aumento da densidade do solo, a redução do volume de macroporos e da rugosidade superficial (SILVA et al., 2011) e o aumento da resistência à penetração (BERGAMIN et al., 2010), decorrentes, principalmente, da pressão provocada pelo trânsito de máquinas e implementos agrícolas. Entretanto, apesar de apresentar uma menor porosidade total, o solo manejado sob plantio direto apresenta maior continuidade de poros, principalmente pela presença de porosidade biológica (bioporos), oriunda da ação da mesofauna do solo e da decomposição das raízes das culturas (LIMA et al., 2005). Esses bioporos, apesar de representarem pequeno volume em relação ao volume total de poros, são altamente funcionais e

podem amenizar esses efeitos, principalmente reduzindo a resistência do solo à penetração das raízes (GENRO JÚNIOR et al., 2004).

2.2.3. Sucessão de culturas

Para a sustentabilidade do sistema plantio direto, torna-se indispensável à manutenção da palhada sobre a superfície do solo, com quantidades de matéria seca suficiente para manter o solo coberto durante todo o ano. A permanência dos resíduos vegetais oriundos de culturas de cobertura sobre o solo é uma forma de melhoria e manutenção da qualidade do solo, pois pode protegê-lo da radiação solar, diminuir o impacto das gotas de chuva, manter a umidade do solo e auxiliar no controle de plantas daninhas (LEITE et al., 2010).

Quando se considera o clima e solo da região Amazônica, o emprego do sistema plantio direto sugere o conhecimento e a definição de espécies para cobertura que sejam adaptadas a estas condições, pois em regiões tropicais, com inverno quente e seco e verão quente e chuvoso, o cultivo de culturas anuais é limitado na entressafra, assim como o processo de decomposição da cobertura vegetal do solo, que ocorre de forma acelerada (PACHECO et al., 2011), sendo relatado em algumas ocasiões, taxas de decomposição até dez vezes mais rápidas do que em regiões temperadas (LAL e LOGAN, 1995). Nessas condições de clima, as características mais importantes nas plantas de cobertura do solo são a quantidade e a durabilidade da fitomassa produzida, bem como sua capacidade de ciclagem de nutrientes (BOER et al., 2008).

A rotação ou sucessão de culturas também pode melhorar os atributos físicos do solo, pela inclusão de espécies com sistema radicular abundante e elevado aporte de matéria seca. Para Aita et al. (2004) as gramíneas têm papel importante na ciclagem de nutrientes e sobretudo, nas propriedades do solo. A utilização da cultura do milho tem assegurado a reposição e a manutenção da palhada para a cobertura do solo na semeadura direta, pois apresenta elevada relação C/N e produz grande quantidade de resíduos (ALMEIDA et al., 2008).

A prática de rotação de culturas tem contribuído para o desenvolvimento da cultura de soja, que evoluiu muito e acabou destacando-se como uma das principais atividades do agronegócio brasileiro, tendo sua tecnologia de produção atualizada constantemente.

Diversas culturas vêm sendo utilizadas em rotação ou sucessão com a soja, dentre as quais, Debiasi et al. (2010) afirmaram que a produtividade da soja foi significativamente maior nos tratamentos com aveia preta e aveia preta consorciada com ervilhaca, enquanto Genro Junior et al. (2009) encontraram que o uso da crotalária no sistema de rotação de culturas também aumentou a produtividade dessa cultura. Contudo, Girardello et al. (2011) mencionam alguns problemas na utilização dos sistemas de rotação de culturas, pois os mesmos estão mais associados às pressões econômicas que afetam os produtores do que a falta de conhecimento técnico. Os autores afirmam ainda que uma das principais falhas estaria relacionada a pouca utilização de plantas com potencial de ciclagem de nutrientes e de descompactação do solo, pois em sua maioria, não apresentam retorno financeiro direto ao produtor, que se vê obrigado a fazer o plantio de monoculturas ou sucessões de culturas, sendo o milho uma das principais opções de sucessão com a soja.

2.3. Indicadores de qualidade física do solo

O termo qualidade do solo tem sido associado a várias propriedades, o que em muitas ocasiões tem dificultado um conceito ou definição própria. Para Silva et al. (2010) a qualidade é um atributo inerente a cada tipo de solo, o qual pode ser modificado a partir de suas características e propriedades ou observações indiretas. Comumente, a qualidade do solo agrícola tem sido considerada sob três aspectos: físico, químico e biológico, sendo importantes nas avaliações do grau de degradação ou melhoria do solo e também como forma para identificar a sustentabilidade dos sistemas de manejo (ARATANI et al., 2009).

A qualidade física tem merecido destaque, uma vez que pode afetar diretamente na qualidade química e biológica dos solos, e ainda determinar a taxa de infiltração, retenção e disponibilidade de água às plantas, permitindo maior ou menor degradação e trocas de calor e gases entre a atmosfera e as raízes das plantas (REICHERT et al., 2003; ARAÚJO et al., 2007; SILVA et al., 2008).

2.3.1. Densidade do solo

A importância da densidade do solo relaciona-se ao fornecimento das indicações do estado de conservação do solo, sobretudo sua influência na infiltração

e retenção de água no solo, desenvolvimento de raízes, trocas gasosas e nos processos erosivos, sendo muito utilizada na avaliação da compactação dos solos (FUENTES-LLANILLO et al., 2006).

Esse atributo apresenta estreita relação com a estrutura do solo, uma vez que influencia diretamente no arranjo e orientação das partículas do solo, bem como a quantidade e geometria dos espaços porosos. A textura do solo também está relacionada com a densidade, porém ainda não existe um consenso sobre o nível crítico, acima do qual o solo é considerado compactado. Os maiores valores têm sido observados para solos arenosos, nos quais são frequentemente relatados valores entre 1,35 a 1,85 Mg m⁻³ (ARAÚJO et al., 2004), enquanto nos solos argilosos os valores se concentram na faixa de 1,08 a 1,33 Mg m⁻³ para Secco et al. (2005) e entre 1,23 a 1,34 Mg m⁻³ em trabalhos de Spera et al. (2006).

Os sistemas de manejo do solo alteram os atributos físicos, sendo que a maioria dos métodos de preparo causa algum nível de compactação do solo em relação às condições naturais, podendo ser verificada pelo aumento da densidade do solo em superfície de plantio direto (FALLEIRO et al., 2003; BILIBIO et al., 2010), e pela maior densidade em subsuperfície em preparos convencionais (FUENTES-LLANILLO et al., 2013). A elevação da densidade prejudica o desenvolvimento das plantas, e ocasiona aumento da resistência à penetração de raízes, altera a movimentação de água e nutrientes e a difusão de oxigênio e outros gases na área radicular (FUENTES-LLANILLO et al., 2006).

Os menores valores de densidade, observados em áreas preparadas convencionalmente, são proporcionados pelo revolvimento do solo que tem como uma de suas principais finalidades, aumentar a condição de porosidade e aeração dos solos (FALLEIRO et al., 2003). Esses valores tendem a ser incrementados conforme se aumenta o tempo de utilização e a frequência do preparo na área, pois apesar do efeito imediato trazer benefícios, pode existir a formação de uma camada compactada abaixo do volume de solo preparado, resultante das sucessivas operações de aração e gradagem, o que prejudica o desenvolvimento das culturas. Fuentes-Llanillo et al. (2013) avaliando a morfologia e as propriedades físicas do solo em diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Vermelho argiloso no norte do Paraná obtiveram em preparo convencional densidades acima de 1,35 Mg dm⁻³ na camada de 0,20 a 0,30 m e atribuíram esse valor ao revolvimento, que resultou em

uma estrutura compacta entre a superfície e a base de trabalho do implemento utilizado.

O uso de implementos como escarificadores e subsoladores tem proporcionado valores de densidade divergindo significativamente em função da profundidade analisada. Collares et al. (2006) verificaram que a escarificação do solo foi mais eficiente em reduzir a compactação do solo até os 0,20 m de profundidade, quando realizada numa área cultivada sob plantio direto há 12 anos. Enquanto, Debiasi et al. (2010) avaliando as propriedades físicas de um Argissolo Vermelho franco-argilo-arenoso com diferentes coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo, afirmaram que valores de densidade do solo de $1,18 \text{ Mg m}^{-3}$ aliado à macroporosidade em torno de $0,28 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ na camada superficial da área escarificada, pode ter reduzido a disponibilidade de água para as culturas e comprometido o rendimento de grãos de soja.

As maiores densidades observadas no sistema plantio direto estariam diretamente relacionadas à acomodação natural das partículas e ao tráfego de máquinas pesadas sobre as áreas, em condições de umidade inadequada, e não necessariamente à ausência de mobilização do solo (ROSSETTI e CENTURION, 2013). Collares et al. (2006) encontraram maior densidade em plantio direto aos 0,075 m, corroborando com os resultados de Silva et al. (2008) que obtiveram valores de $1,47 \text{ Mg m}^{-3}$ na camada de 0,0 a 0,10 m, demonstrando que no sistema plantio direto as maiores densidades vêm sendo observadas na camada superficial. No entanto, Silveira et al. (2008) relataram que a densidade do solo sob plantio direto pode ser reduzida com o tempo, devido, em parte, ao aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial, que favoreceria a agregação e melhoraria a qualidade estrutural do solo.

Diferenças na morfologia do sistema radicular das espécies utilizadas em sucessão de culturas, bem como, a capacidade das mesmas em explorar solos compactados, também pode influenciar a densidade do solo nas camadas superficiais. Silva et al. (2008) verificaram diferenças entre as sucessões de culturas na camada de 0,0 a 0,10 m, onde com milho+braquiária a densidade do solo foi superior a área com cultivo de soja, sendo $1,42$ e $1,30 \text{ Mg dm}^{-3}$, respectivamente. Todavia, Silveira Neto et al. (2006), avaliando o efeito de diferentes rotações de culturas sobre os atributos físicos do solo, observaram que o sistema de rotação que alternava safras de milho com feijão e arroz propiciou, na camada de 0,10 a 0,20 m de profundidade, menor

valor de densidade de solo e maiores valores de macroporosidade e de porosidade total do que nos demais sistemas de rotação de culturas.

2.3.2. Porosidade do solo

A porosidade do solo tem sido diretamente associada à estrutura e textura do solo, sendo os poros determinados pelo tamanho, arranjo e geometria das partículas. Esse atributo é usualmente baseado pelo diâmetro dos poros, os quais são subdivididos em macroporos e microporos. No primeiro ocorrem os processos de aeração e drenagem, enquanto no segundo, a retenção de água (BERTOL et al., 2004).

Foi atribuído por Kiehl (1979) que o solo considerado “ideal” seria aquele em que os valores de macroporosidade situaram-se entre 0,10 a 0,16 m³ m⁻³, enquanto para microporosidade, valores de até 0,33 m³ m⁻³. Esses valores são amplamente utilizados para definir condições limitantes de aeração em diversos tipos de solo, como Cambissolo Húmico (BERTOL et al., 2004), Latossolo Vermelho (SILVA et al., 2008) e Latossolo Vermelho-Amarelo (NEVES JUNIOR et al., 2013). Bertol et al. (2004) destacaram ainda, que esses valores são limitantes ao desenvolvimento radicular e que valores menores podem ser restritivos para o crescimento e produtividade das culturas.

O tráfego de máquinas e implementos na superfície, em ocasiões de maior umidade do solo, pode provocar a compactação do solo, com efeitos negativos sobre a porosidade, principalmente a macroporosidade (DEXTER et al., 2007). A adoção do preparo convencional tem proporcionado, inicialmente, maior quantidade de macroporos em superfície devido ao intenso revolvimento, enquanto no plantio direto, encontram-se os menores valores de macroporos, fato associado à intensa circulação de máquinas e à ausência de revolvimento, favorecendo a compactação superficial. Esse fato tem sido relatado em vários trabalhos, como o de Spera et al. (2009) que observaram maior macroporosidade no preparo convencional e no cultivo mínimo do que em sistema plantio direto. Silva et al. (2008) enfatizaram que os sistemas de manejo influenciam os macroporos preponderantemente em camadas de até 0,10 m e relataram que o uso de escarificador e grade pesada proporcionaram maiores valores de macroporosidade. Ainda que o tempo de implantação proporcione maior estabilidade ao sistema plantio direto, não tem resultado em macroporosidade

semelhante ao preparo convencional e/ou a mata nativa nas camadas de 0,0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m (ROSSETTI e CENTURION, 2013).

A microporosidade sofre influência não só do manejo, mas também das frações que compõem o solo. A textura e o teor de matéria orgânica são as características que mais tem afetado a quantidade de microporos, enquanto a densidade do solo, pouco a influência (FERREIRA et al., 1999; JORGE et al., 2012). Silveira Neto et al. (2006) observaram que o plantio direto contínuo propiciou maior valor de densidade do solo e menores valores de macroporosidade e porosidade total do que o sistema de plantio direto seguido anualmente de um preparo do solo, entretanto a microporosidade não diferiu em função dos sistemas de manejos avaliados. De forma semelhante, Silva et al. (2008) verificaram que a microporosidade não sofreu alterações pelos sistemas de manejos do solo, independentemente da profundidade analisada.

O efeito dos sistemas de rotações e sucessões de culturas sobre a porosidade do solo tem sido ainda mais variável do que àqueles provocados pelos sistemas de preparo do solo. Este fato pode estar relacionado à variação anual das culturas implantadas, que condicionam diferentes aportes de material vegetal ao solo (SILVEIRA NETO et al., 2006). A utilização de diferentes espécies proporciona a formação de canalículos no solo, decorrentes da decomposição das raízes das culturas, e favorece a formação de macroagregados, importantes na distribuição de poros do solo, principalmente, os relacionados à macroporosidade (SUZUKI e ALVES, 2006). O uso de leguminosas, como crotalária e soja e o consórcio das culturas de mucuna preta e milho, tem resultado em maiores valores de macroporosidade e porosidade total na camada superficial, de 0,0 a 0,10 m (SILVA et al., 2008). Os autores atribuíram os resultados à melhor distribuição radicular das leguminosas nas camadas superficiais.

2.3.3. Estabilidade de agregados

Do ponto de vista agrícola, a estrutura do solo é um dos atributos mais importantes, pois a manutenção do bom estado de agregação e estabilidade torna-se condição primordial para garantir elevadas produtividades (HICKMANN et al., 2011). Solos com agregados estáveis e de maior tamanho são considerados solos estruturalmente melhores e mais resistentes ao processo erosivo, pois a agregação

facilita a aeração do solo, as trocas gasosas e a infiltração de água, em função do aumento da macroporosidade entre os agregados, e ainda garantem a microporosidade e a retenção de água no interior dos agregados (CALONEGO e ROSOLEM, 2008; SALTON et al., 2008).

A estabilidade dos agregados se altera conforme as características inerentes ao solo e com os sistemas de manejo. Com o decorrer do tempo, os solos cultivados em geral tendem a sofrer modificações em sua estrutura original pelo fracionamento dos agregados em unidades menores, e conseqüente redução no volume de macroporos e aumento nos microporos e densidade do solo (PANACHUKI et al., 2011). Deste modo, sistemas de manejo que proporcionem agregados mais resistentes tornam-se desejáveis, pois apresentam capacidade de manter a estrutura do solo sem grandes alterações quando submetidos a forças externas, como pisoteio de animais e operações mecanizadas, e ainda maiores resistência a perdas por erosão (SALTON et al., 2008).

Os sistemas de manejo com revolvimento intensivo do solo apresentam efeitos mais prejudiciais nas camadas superficiais, visto que o uso inadequado de máquinas e implementos agrícolas leva à formação de uma camada superficial compactada (ARGENTON et al., 2005) e à redução do teor de matéria orgânica, principal agente de formação e estabilização dos agregados. O intenso revolvimento provoca a quebra dos agregados, e este rompimento deixa a matéria orgânica que estava em seu interior desprotegida, acelerando o processo de decomposição e diminuindo a resistência destes agregados (WENDLING et al., 2005).

Em sistemas conservacionistas de manejo do solo os agregados permanecem física e quimicamente protegidos, por apresentarem estruturas com compostos orgânicos inacessíveis à ação dos micro-organismos e por apresentarem forte interação entre os compostos orgânicos com os minerais e/ou com cátions polivalentes (VEZZANI e MIELNICZUK, 2011). A continuidade do sistema ajuda a dar maior estabilidade e aumento no tamanho dos agregados pela ação mecânica das raízes das plantas e hifas fúngicas, entrelaçando os agregados e incorporando compostos orgânicos e inorgânicos, os quais formam agregados maiores e mais estáveis (SALTON et al., 2008).

O tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo podem ser determinados de várias formas, todavia, os parâmetros mais utilizados são o diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG) e índice de

estabilidade dos agregados (IEA). Cada parâmetro apresenta princípio diferente: o DMP é tanto maior quanto maior a porcentagem de agregados retidos nas peneiras com malhas maiores; DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregados de maior ocorrência; e IEA representa uma medida da agregação total do solo, não considerando a distribuição por classes de agregados (KEMPER e CHEPIL, 1965; CASTRO FILHO et al., 1998; HICKMANN et al., 2011). Acrescenta-se a esses, o índice AGRI, utilizado para determinar a porcentagem de agregados de diâmetro superior a 2,0 mm (WENDLING et al., 2005).

A adoção do sistema convencional de preparo do solo, em função do revolvimento, normalmente favorece a redução nos valores de DMP (LOURENTE et al., 2011). Bilibio et al. (2010) verificaram que nos tratamentos convencionais a diminuição do DMG ocorreu apenas na camada superficial (0,0 - 0,5 m), enquanto que nos sistemas conservacionistas, nos primeiros centímetros do solo, o DMG foi maior devido a matéria orgânica e ausência de revolvimento. Castro Filho et al. (1998) comparando diferentes sistemas de plantio na profundidade de 0,0 - 0,10 m, encontraram diferença significativa para todos os parâmetros de agregação, com aumentos relativos de 74%, 70% e 10,4% para o DMP, DMG e IEA, respectivamente, no plantio direto em relação ao plantio convencional. Semelhantemente a esses resultados, Hickmann et al. (2011) também observaram que o plantio direto favoreceu o incremento de DMG, DMP e IEA em 75%, 40% e 5%, respectivamente, em relação ao preparo com arado de disco mais grade pesada. Os autores verificaram ainda, predomínio da classe de tamanho de 4,0 - 2,0 mm, com o plantio direto apresentando 78% de agregados nessa classe, enquanto o preparo convencional, somente 48%.

Os sistemas de preparo de solo associados à rotação e/ou sucessão de culturas, com diferentes sistemas radiculares e relações C/N, influenciam a estabilidade e o tamanho de agregados (SALTON et al., 2008). Culturas da família Poaceae (gramíneas) vêm sendo utilizadas como plantas recuperadoras da estrutura do solo em áreas degradadas, por apresentarem maior densidade de raízes e melhor distribuição do sistema radicular no solo, favorecendo as ligações dos pontos de contato entre partículas minerais e agregados, e ainda contribuem para a formação e estabilidade dos agregados (CALONEGO e ROSOLEM, 2008). O maior efeito de raízes de monocotiledôneas em relação às dicotiledôneas na estruturação do solo,

também foi constatado por Castro Filho et al. (1998) ao observarem na rotação milho/trigo/milho maior DMP e DMG do que na rotação soja/trigo/soja.

A matéria orgânica do solo, proveniente do crescimento radicular e do constante aporte de palha na superfície do solo, tem papel fundamental na melhoria de suas propriedades físicas, atuando na maior agregação. A partir de seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas, como a densidade, a porosidade, a aeração, a capacidade de retenção e a infiltração de água, que são fundamentais para a capacidade produtiva do solo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado considerando dois experimentos consecutivos por duas safras, 2011/2012 e 2012/2013, no campus experimental da Universidade Federal de Rondônia (UNIR), em Rolim de Moura - RO. O município localiza-se em latitude 11° 34' 57" S, longitude 61° 46' 21" W e altitude de 277 m. De acordo com a classificação de Köppen, na região predomina o clima do tipo Aw, tropical chuvoso, apresentando chuvas intensas nos meses de outubro a abril e escassez entre maio a agosto, com média anual de precipitação entre 1400 a 2600 mm, temperatura do ar variando entre 24 a 26°C (RONDÔNIA, 2012) e umidade relativa do ar oscilando em torno de 85% no período chuvoso, entre outubro e maio.

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, cuja composição granulométrica, determinada pelo método da pipeta (CLAESSEN, 1997), foi de 558 g kg⁻¹ de argila, 132 g kg⁻¹ de silte e 311 g kg⁻¹ de areia nos primeiros 0,10 m.

O local inicialmente era ocupado por mata nativa, a qual foi derrubada e substituída por pastagem de *Brachiaria sp.*. Em 2004, o solo foi preparado convencionalmente para a condução de uma safra de soja, ficando posteriormente em pousio até novembro de 2007, quando houve o preparo do solo e início do plantio direto, ocorrendo os primeiros cultivos do ensaio. Em novembro de 2011, o primeiro estudo foi instalado na área, sendo o segundo estudo iniciado em novembro de 2012. Foram realizadas análises químicas para a caracterização da área nas profundidades de 0,0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, conforme Embrapa (2009), onde os resultados encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1. Propriedades químicas do solo da área experimental, na implantação dos experimentos. Rolim de Moura, 2011

Profundidade	pH	MO ¹	P ²	K ²	Ca ³	Mg ³	H+Al ³	SB	T	V
(m)	H ₂ O	g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	-----	-----	cmol _c dm ⁻³	-----	-----	-----	%
0,0 - 0,05	5,95	34	8,15	0,44	1,49	0,87	2,35	2,80	5,15	54
0,05 - 0,10	5,99	32	3,47	0,36	1,53	0,98	2,22	2,87	5,09	56

¹Walkley - Black; ²Mehlich 1; ³KCl 1 mol L⁻¹; SB = soma de bases; T = CTC a pH 7,0; V% = saturação por bases atual do solo.

Em cada safra, 2011/12 e 2012/13, os experimentos foram conduzidos em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com três repetições. Nas parcelas foram alocados os sistemas de manejo do solo, sendo na safra 2011/12: PC (preparo convencional com uma operação utilizando grade aradora e duas com grade niveladora); PC+S (preparo convencional com uma operação de subsolagem e uma com grade niveladora); PD (plantio direto); e PD+S (plantio direto com uma operação de subsolagem no quarto ano, coincidindo com o ano de instalação do experimento); e na safra 2012/13: PC (grade aradora e grade niveladora), PC+S (subsolagem e grade niveladora), PD (plantio direto) e o PD+SA (plantio direto com subsolagem realizada em 2011). As subparcelas foram constituídas pelas mesmas sucessões de culturas nas duas safras: SF (soja/feijão); SM (soja/milho); MF (milho/feijão); e MM (milho/milho).

As operações de preparo do solo de acordo com os tratamentos foram realizadas em novembro de cada ano. Nos tratamentos com revolvimento foi utilizado uma grade aradora dupla ação de discos da marca Tatu[®], com duas seções de sete discos 26'' e largura de corte de 1,75 m; um arado subsolador da marca Tatu[®], com cinco hastes espaçadas em 500 mm, largura de trabalho de 1,76 m e profundidade de trabalho de 0,40 m; os implementos foram acoplados em um Trator TL 85G da New Holland[®], 4x2 TDA, com 85 CV de potência. Nos tratamentos em plantio direto foi realizada a dessecação da vegetação com glyphosate na dose de 2,0 L.ha⁻¹.

O cultivo da soja (RR Valiosa) e do milho (AL Bandeirante) foi realizado de novembro a março, seguidos pelo feijão e milho na safrinha (março a junho). A soja e o milho foram semeados manualmente em 06 de novembro de 2011 e 10 de novembro de 2012, em parcelas de 5,4 x 11,0 m, com espaçamento entrelinhas de 0,65 m e população de 200.000 e 76.500 plantas por hectare, respectivamente. A adubação de semeadura foi realizada com 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 75 kg ha⁻¹ de K₂O para ambas as culturas, sendo o milho adubado ainda com 30 kg ha⁻¹ de N e a soja inoculada com *Bradyrhizobium japonicum*, em inoculante líquido na dose de 150 ml para 50 kg de semente. Seguindo as combinações das sucessões de culturas, o feijão e o milho foram semeados manualmente em 10 de março de 2012 e 17 de março de 2013 nas entrelinhas das culturas de verão, utilizando-se a mesma adubação descrita anteriormente.

O manejo fitossanitário foi realizado conforme a ocorrência das pragas em cada cultura. Para o controle de percevejos na soja e no milho foi utilizado o inseticida de princípio ativo lambda-cialotrina + tiametoxam na dose de 200 ml.ha⁻¹, enquanto que para o controle de lagartas nas mesmas culturas utilizou-se 500 ml.ha⁻¹ do princípio ativo metomil. Na cultura do feijão foi utilizado o fungicida de princípio ativo azoxistrobina na dose de 200 ml.ha⁻¹ para o controle da mela. Já o controle de plantas invasoras foi realizado com capina manual em todos os cultivos.

Na determinação dos atributos físicos do solo, as coletas de amostras deformadas e com estrutura preservada foram realizadas em duas etapas. A primeira foi realizada após os preparos do solo e antes da semeadura (novembro) e a segunda antes da colheita (março) das culturas de verão (soja e milho). Nas parcelas experimentais foram escolhidos aleatoriamente três pontos de amostragem, nas entrelinhas das culturas, onde foram coletadas amostras com estrutura preservada em cilindros metálicos nas profundidades de 0,0 a 0,05 m e 0,05 a 0,10 m, para a obtenção da densidade do solo e do espaço poroso.

Após o preparo das amostras, essas foram saturadas por meio da elevação gradual de uma lâmina de água até atingir cerca de 2/3 da altura do anel, sendo realizado o procedimento para a obtenção da microporosidade pelo método da mesa de tensão. Posteriormente, essas amostras foram levadas à estufa a 105-110°C, por 48 horas, para determinação da umidade volumétrica e da densidade do solo pelo método do anel volumétrico (CLAESSEN, 1997). Os valores de porosidade total, macroporosidade e densidade do solo foram determinados segundo a metodologia descrita em Claessen et al. (1997).

A estabilidade de agregados foi determinada nas duas profundidades, através do tamisamento por via úmida das amostras de solo no aparelho Yoder, segundo método descrito por Kiehl (1979). Foram retirados blocos de solo com estrutura levemente alterada, secos ao ar e passados em peneiras de 4,0 e 2,0 mm. Os agregados retidos na peneira de 2,0 mm foram empregados nas análises de estabilidade de agregados via úmida, a qual foi realizada colocando as amostras sobre um jogo de peneiras com malhas de 2,0; 1,0; 0,50, 0,25 e 0,106 mm, que foram submetidas a oscilações verticais, durante 15 minutos numa frequência de 32 oscilações por minuto. O solo retido em cada peneira foi transferido para recipientes com auxílio de jatos de água fracos dirigidos ao fundo das peneiras, sendo em

seguida, colocado para secagem em estufa a 105°C e posterior pesagem para a obtenção do peso seco de cada classe de agregados.

Os resultados foram utilizados no cálculo do diâmetro médio ponderado (DMP), diâmetro médio geométrico (DMG), índice de estabilidade de agregados (IEA) e índice de agregados com diâmetro superior a 2 mm (AGRI). Estes índices de agregação do solo foram calculados da seguinte maneira:

$$DMP = \Sigma (x_i \cdot w_i) \quad (1)$$

Em que x_i é o diâmetro médio das classes (mm) e w_i é a proporção de cada classe em relação ao total, de acordo com Castro Filho (1998).

$$DMG = \exp \{ \Sigma [(\ln [x_i] * [p_i])] / \Sigma [p_i] \} \quad (2)$$

Em que $\ln[x_i]$ é o logaritmo natural do diâmetro médio das classes e p_i é o peso (g) retido em cada peneira, segundo Castro Filho (2002).

$$IEA = \{ (PA - w_{p < 0,25}) / (PA) \} * 100 \quad (3)$$

Em que PA é o peso da amostra e $w_{p < 0,25}$ corresponde ao peso (g) dos agregados da classe menor que 0,25 mm, segundo Castro Filho (2002).

$$AGRI = w_{i > 2} \times 100 \quad (4)$$

Em que $w_{i > 2}$ representa a proporção de agregados maior que 2,0 mm, segundo Wendling et al. (2005).

A caracterização dos atributos físicos do solo foi realizada em todas as parcelas de cultivo, nas profundidades 0,0 a 0,05 e 0,05 a 0,10 m, antes do início das coletas, conforme apresentado nos Apêndices A e B.

Os dados foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa SISVAR. Verificando-se interação significativa entre os fatores, procederam-se os necessários desdobramentos, sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5 % de significância.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Safra 2011/2012

4.1.1. 1º época de amostragem do solo: semeadura

Houve interação significativa entre os sistemas de manejo do solo e as sucessões de culturas para a densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total, na profundidade de 0,0 a 0,05 m (Quadro 2). A densidade do solo apresentou-se de forma diferenciada entre os tratamentos, no entanto, verificou-se que todos os valores ficaram dentro da faixa de 1,08 a 1,33 Mg m⁻³, considerada ideal para o desenvolvimento das culturas em solos argilosos (SECCO et al., 2005).

Para a macro e microporosidade não se observou diferenças significativas entre os manejos do solo nas sucessões de culturas, exceto na sucessão milho/milho onde os tratamentos com subsolagem apresentaram maior macroporosidade, e na sucessão milho/feijão que PC apresentou elevada microporosidade. Destaca-se que a prática da subsolagem, em um primeiro momento após a sua utilização na área, pode ter favorecido a maior porosidade total no PC+S e no PD+S, tanto na sucessão SF quanto na MM.

Já na profundidade de 0,05 a 0,10 m verificou-se efeito somente do manejo do solo para densidade, microporosidade e porosidade total, sendo que para a macroporosidade não houve diferença significativa entre os tratamentos (Quadro 3). Constatou-se que os menores valores de densidade foram obtidos nos preparos convencionais não diferindo do uso do subsolador. Entretanto, a subsolagem no plantio direto (PD+S) reduziu a densidade do solo, ficando o PD com o maior valor de densidade nessa camada, possivelmente devido ao acomodamento natural das partículas do solo, que de acordo com Marcolan e Anghinoni (2006) essas partículas tendem a se ajustar umas nos espaços deixados pelas outras, elevando a densidade do solo e resultando na formação de camadas adensadas, mesmo em solos sem interferência antrópica.

Quadro 2. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na semeadura da safra 2011/12

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
PD	1,15 A a	1,16 A a	1,06 AB b	1,12 A ab
PC	1,10 AB a	1,01 C b	1,05 AB ab	1,12 A a
PD+S	1,09 AB a	1,02 BC a	1,03 B a	1,05 A a
PC+S	1,02 B b	1,10 AB a	1,12 A a	1,07 A ab
CV ^a (%)	4,36			
CV ^b (%)	3,18			
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,110 A b	0,113 A b	0,163 A a	0,120 AB ab
PC	0,103 A a	0,130 A a	0,100 A a	0,093 B a
PD+S	0,103 A b	0,153 A a	0,157 A a	0,141 AB ab
PC+S	0,143 A a	0,097 A b	0,160 A a	0,183 A a
CV ^a (%)	44,82			
CV ^b (%)	15,84			
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,353 A a	0,350 A a	0,323 B a	0,343 A a
PC	0,370 A a	0,360 A a	0,390 A a	0,367 A a
PD+S	0,377 A a	0,350 A ab	0,327 B b	0,351 A ab
PC+S	0,363 A a	0,370 A a	0,317 B b	0,313 A b
CV ^a (%)	10,43			
CV ^b (%)	4,27			
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,463 B b	0,463 B b	0,486 A a	0,463 B b
PC	0,473 B b	0,490 AB a	0,490 A a	0,460 B b
PD+S	0,480 AB b	0,503 A a	0,484 A ab	0,492 AB ab
PC+S	0,506 A a	0,467 B b	0,477 A b	0,496 A a
CV ^a (%)	4,74			
CV ^b (%)	1,80			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Quadro 3. Densidade do solo (DS), macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC) e porosidade total (PT) em áreas cultivadas com diferentes sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na semeadura da safra 2011/12

Manejo do solo	DS (Mg m ⁻³)	MAC (m ³ m ⁻³)	MIC (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)
PD	1,20 A	0,111 ^{ns}	0,328 B	0,44 C
PC	1,08 C	0,098	0,382 A	0,48 A
PD+S	1,14 B	0,118	0,345 AB	0,46 B
PC+S	1,09 C	0,148	0,333 B	0,48 A
CV ^a (%)	1,77	29,90	7,71	2,31

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. ns: não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas).

Os menores valores da densidade no PC e PC+S estiveram associados aos maiores resultados da porosidade total, que devido ao intenso revolvimento juntamente com a incorporação dos restos culturais, proporcionaram uma maior desagregação do solo com aumento dos espaços porosos. A menor porosidade total foi verificada no PD, provavelmente devido à utilização de máquinas na área em anos anteriores, onde muitas vezes as operações são realizadas com elevada umidade do solo por coincidirem com o período mais chuvoso na região. Corroborando com esses resultados, Torres et al. (2011) obtiveram menores valores de porosidade em semeadura direta na profundidade de 0,05 a 0,10 m, e atribuíram esse fato a pressão exercida pelo trânsito de máquinas pesadas na semeadura.

Quanto à microporosidade, o menor valor observado para o PD pode ser relacionado à menor porosidade total também encontrada nesse sistema, sendo os maiores valores obtidos no PC e no PD+S. Resultados divergente foram obtidos por Bertol et al. (2004) que verificaram uma microporosidade maior sob PD, quando comparado aos preparos convencionais na camada de 0,0 a 0,10 m, sendo relacionado ao elevado valor da densidade nesse sistema que foi de 1,30 Mg m⁻³. Apesar da macroporosidade não ter apresentado diferença significativa entre os tratamentos, destaca-se que o valor 0,098 m³ m⁻³ ficou próximo ao da macroporosidade mínima de 0,10 m³ m⁻³ considerada ideal para suprimento adequado de oxigênio as plantas (NEVES JUNIOR et al., 2013), porém o menor valor de densidade (1,08 Mg m⁻³) pode não ter refletido em consequências para o crescimento radicular e desenvolvimento das plantas. Torres et al. (2011) também

não encontraram resultados significativos para a macroporosidade entre os sistemas de manejo estudados.

A estabilidade de agregados estimada pelo diâmetro médio geométrico (DMG), diâmetro médio ponderado (DMP), índice de estabilidade de agregado (IEA) e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (AGRI), apresentou efeito entre os tratamentos com interação entre eles nas duas camadas avaliadas na semeadura (Quadro 4 e 5).

Os parâmetros de agregação, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, foram mais elevados no PD e no PD+S, principalmente nas sucessões que incluíram o milho (Quadro 4). Quando o milho foi cultivado somente na safrinha, essa tendência no plantio direto foi observada no DMG e no IEA, igualando-se ao preparo convencional nos demais parâmetros avaliados. Já na sucessão SF verificou-se diferenças significativas somente no DMG e DMP, onde o PD+S foi superior, mas não diferiu do PC+S e do PD.

Diâmetros médios mais elevados em PD também foram constatados por Bilibio et al. (2010) e Hickmann et al. (2011) que atribuíram esses resultados a ausência de revolvimento associada ao maior teor de matéria orgânica acumulado nesse sistema de manejo. Além disso, Silva e Mielniczuk (1998) afirmam que os resíduos vegetais de gramíneas, por possuírem maior relação C/N e menor taxa de decomposição, atuam por um período maior no solo melhorando a estabilidade de agregados. Calonego e Rosolem (2008) ao avaliarem a estabilidade de agregados após o manejo com diferentes rotações de culturas observaram que os tratamentos com ausência de espécies de sistema radicular fasciculado (girassol e crotalária) proporcionaram menor quantidade de agregados com diâmetro superior a 2 mm na camada de 0,0 a 0,05 m.

As mesmas tendências para o manejo do solo foram observadas na profundidade de 0,05 a 0,10 m, onde o PD e o PD+S apresentaram maiores valores para os parâmetros de agregação do solo, principalmente na presença de milho na sucessão (Quadro 5). O efeito de raízes na estruturação do solo em PD foi constatado por Castro Filho et al. (1998), que verificaram que a estabilidade do solo com a sucessão milho/trigo/milho, na profundidade de 0,0 a 0,10 m, foi 20% superior quando comparada com a sucessão soja/trigo/soja.

Quadro 4. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na semeadura da safra 2011/12

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	1,90 AB b	2,17 A a	1,97 A ab	2,11 A ab
PC	1,77 B a	1,88 B a	1,65 B a	1,72 B a
PD+S	2,07 A a	1,96 AB a	2,13 A a	2,21 A a
PC+S	2,02 AB a	1,77 B ab	1,66 B b	1,70 B b
CV ^a (%)	6,91			
CV ^b (%)	6,16			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,40 AB a	2,56 A a	2,42 A a	2,53 A a
PC	2,31 B ab	2,40 AB a	2,20 B b	2,29 B ab
PD+S	2,51 A a	2,43 AB a	2,54 A a	2,59 A a
PC+S	2,48 AB a	2,30 B ab	2,20 B b	2,26 B b
CV ^a (%)	3,69			
CV ^b (%)	3,60			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	94,52 A b	96,28 A a	95,79 A ab	95,67 A ab
PC	93,95 A a	94,28 B a	93,43 B a	93,11 B a
PD+S	95,48 A ab	95,21 AB b	96,20 A ab	96,67 A a
PC+S	95,31 A a	94,27 B ab	93,70 B b	93,26 B b
CV ^a (%)	0,94			
CV ^b (%)	0,66			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	71,51 A a	78,75 A a	72,55 A a	77,03 AB a
PC	67,83 A ab	72,62 AB a	62,46 B b	67,85 BC ab
PD+S	76,80 A a	73,09 AB a	77,68 A a	80,37 A a
PC+S	75,65 A a	66,80 B ab	62,59 B b	65,72 C b
CV ^a (%)	5,94			
CV ^b (%)	5,69			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Quadro 5. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na semeadura da safra 2011/12

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,24 AB a	2,43 A a	2,26 AB a	2,21 AB a
PC	1,95 B a	1,81 C a	1,99 BC a	2,00 BC a
PD+S	2,35 A a	2,21 AB a	2,29 A a	2,30 A a
PC+S	2,13 AB a	1,92 BC ab	1,86 C b	1,81 C b
CV ^a (%)	4,34			
CV ^b (%)	6,06			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,59 AB a	2,70 A a	2,62 A a	2,57 A a
PC	2,43 B a	2,31 B a	2,37 B a	2,47 AB a
PD+S	2,67 A a	2,59 A a	2,62 A a	2,63 A a
PC+S	2,54 AB a	2,40 B ab	2,36 B b	2,31 B b
CV ^a (%)	3,00			
CV ^b (%)	3,23			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	97,09 A a	98,03 A a	96,43 AB a	97,04 A a
PC	95,15 B ab	94,57 C b	96,57 A a	95,13 B ab
PD+S	97,38 A a	96,64 AB a	97,46 A a	97,17 A a
PC+S	96,29 AB a	94,97 BC ab	94,71 B ab	94,66 B b
CV ^a (%)	0,63			
CV ^b (%)	0,79			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	80,23 AB a	85,28 A a	82,23 A a	78,76 A a
PC	72,93 B a	67,18 B a	68,50 B a	75,02 AB a
PD+S	83,59 A a	80,13 A a	81,28 A a	81,88 A a
PC+S	78,01 AB a	70,87 B ab	70,21 B ab	67,05 B b
CV ^a (%)	5,18			
CV ^b (%)	4,97			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

O preparo convencional do solo com a subsolagem (PC+S) apresentou diferença significativa entre as sucessões de culturas, com reduções nos valores do DMG e DMP, bem como dos índices IEA e AGRI nas sucessões MF e MM nas duas profundidades avaliadas. A ação mecânica das hastes de implementos descompactadores, escarificador ou subsolador, tem proporcionado à ruptura da

estrutura do solo, conforme observado por Calonego e Rosolem (2008) que encontraram menor DMP e AGRI quando utilizaram a escarificação na camada de 0,05 a 0,10 m num Nitossolo Vermelho de textura argilosa.

4.1.2. 2ª época de amostragem do solo: colheita

Na colheita das culturas da safra, os atributos físicos avaliados tanto na profundidade de 0,0 a 0,05 m, como na profundidade de 0,05 a 0,10 m apresentaram diferenças somente entre os sistemas de manejo do solo. Na camada mais superficial, obtiveram-se para a densidade do solo valores semelhantes entre os tratamentos, com uma pequena diferença para PD. Esses dados podem ser relacionados com a porosidade total, onde o PD apresentou menor quantidade de poros, diferindo dos demais tratamentos. Na profundidade até 0,10 m a densidade do solo no PD foi superior aos demais tratamentos, que não diferiram entre si, além disso esse tratamento também apresentou menor porosidade total (Quadro 6).

Quadro 6. Densidade do solo (DS), macroporosidade (MAC), microporosidade (MIC) e porosidade total (PT) em áreas cultivadas com diferentes sistemas de manejo do solo, nas profundidades de 0,0 a 0,05 m e de 0,05 a 0,10 m, na colheita da safra 2011/12

Manejo do solo	DS (Mg m ⁻³)	MAC (m ³ m ⁻³)	MIC (m ³ m ⁻³)	PT (m ³ m ⁻³)
0,0 - 0,05 m				
PD	1,13 A	0,159 B	0,311 C	0,470 B
PC	1,12 AB	0,173 A	0,310 C	0,483 A
PD+S	1,12 AB	0,167 AB	0,318 B	0,485 A
PC+S	1,11 B	0,160 B	0,325 A	0,485 A
CV ^a (%)	1,32	4,14	1,02	1,19
0,05 - 0,10 m				
PD	1,18 A	0,149 C	0,309 B	0,459 B
PC	1,13 B	0,178 A	0,304 B	0,483 A
PD+S	1,15 B	0,172 B	0,306 B	0,478 A
PC+S	1,14 B	0,154 C	0,325 A	0,480 A
CV ^a (%)	1,70	2,50	2,44	0,78

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. Médias seguidas de mesma letra na coluna, dentro de cada profundidade, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas).

Destaca-se que após o desenvolvimento das culturas a densidade do solo nas áreas de plantio direto retornaram a valores próximos ao encontrado antes da instalação deste ensaio na profundidade 0,0 a 0,05 m ($1,05$ a $1,15 \text{ Mg m}^{-3}$), evidenciando que mesmo após a utilização do implemento, o solo pode retomar gradativamente a sua condição inicial. Resultados semelhantes foram encontrados por Marcolan e Anghinoni (2006) que observaram que após quatro anos sob semeadura direta, o solo recuperou sua condição original para os atributos físicos nas camadas superficiais avaliadas (0,0 a 0,15 m). Já nos preparos convencionais os valores tornaram-se mais elevados do que os iniciais ($1,00$ a $1,08 \text{ Mg m}^{-3}$), pois após o revolvimento, o solo sofre uma acomodação natural que aliado aos efeitos dos trabalhos mecânicos pode proporcionar uma maior compactação do solo, conforme também observado por Falleiro et al. (2003).

Constatou-se que o efeito desagregador da subsolagem, observado inicialmente na avaliação de semeadura, principalmente na camada de 0,05 a 0,10 m (Quadro 7 e 8), foi recuperado por meio do crescimento e desenvolvimento das culturas no decorrer da safra. Esse fato fica evidente, quando se verifica que o DMG, o DMP, o IEA e o AGRI nos sistemas com subsolagem tiveram resultados semelhantes ao PD para as sucessões SM, MF e MM, e ainda foram superiores ao PD na sucessão SF (Quadro 7). Destaca-se ainda que a melhoria da estrutura do solo nos sistemas com subsolagem ocorreu de forma semelhante, independentemente da sucessão utilizada. Esses resultados foram mais pronunciados do que os relatados por Calonego e Rosolem (2008) que em estudos na região de Botucatu, SP, observaram a recuperação da estrutura de um Nitossolo Vermelho argiloso após o uso de escarificador, porém somente após três anos consecutivos de cultivos de outono-inverno e de verão.

No PC as sucessões apresentaram diferentes graus de agregação do solo, sendo os menores valores observados para SF. Corrêa (2002) também encontrou menores valores de DMP em área de preparo com grade aradora e niveladora, e o monocultivo da soja por quatro e seis anos, enquanto que Bilibio et al. (2010) verificaram que a diminuição do DMG em PC ocorreu apenas na camada superficial e atribuíram esses resultados à desagregação provocada pelas gradagens anuais.

Quadro 7. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na colheita da safra 2011/12

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,08 B b	2,47 A a	2,45 A a	2,49 AB a
PC	2,19 B b	2,40 A ab	2,49 A a	2,31 B ab
PD+S	2,53 A a	2,61 A a	2,47 A a	2,64 A a
PC+S	2,52 A a	2,54 A a	2,51 A a	2,57 A a
CV ^a (%)	2,40			
CV ^b (%)	4,43			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,52 B b	2,74 AB a	2,71 A a	2,73 AB a
PC	2,58 B b	2,70 B ab	2,77 A a	2,64 B ab
PD+S	2,78 A a	2,83 A a	2,71 A a	2,84 A a
PC+S	2,78 A a	2,78 AB a	2,76 A a	2,82 A a
CV ^a (%)	1,04			
CV ^b (%)	2,20			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	95,56 C b	97,73 A a	97,78 A a	98,12 A a
PC	96,44 BC a	97,21 A a	97,37 A a	97,13 A a
PD+S	98,03 A a	98,00 A a	98,00 A a	98,27 A a
PC+S	97,61 AB a	97,84 A a	98,10 A a	97,62 A a
CV ^a (%)	0,45			
CV ^b (%)	0,62			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	77,48 B b	86,92 AB a	85,22 A a	85,82 AB a
PC	79,35 B b	84,91 B ab	89,42 A a	81,38 B b
PD+S	89,53 A ab	92,11 A a	85,00 A b	91,80 A ab
PC+S	89,39 A a	89,78 AB a	88,20 A a	91,40 A a
CV ^a (%)	1,76			
CV ^b (%)	3,51			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

O solo em PD+S apresentou-se com melhores condições de agregação entre os sistemas de manejo do solo na profundidade de 0,05 a 0,10 m (Quadro 8). Nesse manejo os parâmetros de agregação do solo foram superiores a todos os demais, com aumento de 7,6%, 3,2% e 4,3% do DMG, DMP e AGRI, respectivamente, quando comparado ao PD.

Quadro 8. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na colheita da safra 2011/12

Manejo do solo	DMG (mm)	DMP (mm)	IEA (%)	AGRI (%)
PD	2,41 B	2,71 B	97,26 ^{ns}	85,52 B
PC	2,34 B	2,66 B	97,20	82,59 B
PD+S	2,61 A	2,80 A	98,53	89,34 A
PC+S	2,41 B	2,69 B	97,75	84,44 B
CV ^a (%)	4,64	1,77	1,05	2,51

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+S: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. ns: não significativo. Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas).

4.2. Safra 2012/2013

4.2.1. 1º época de amostragem do solo: semeadura

A interação manejo do solo x sucessões de culturas foi significativa para todos os atributos físicos avaliados, tanto na profundidade de 0,0 a 0,05 m (Quadro 9), como na de 0,05 a 0,10 m (Quadro 10). Em sistemas de plantio convencional, em que a camada superficial do solo é constantemente revolvida, é comum observar aumento na macroporosidade, motivo pelo qual a área submetida ao PC e PC+S apresentaram as menores densidades na superfície do solo (0,0 a 0,05 m), haja vista que a coleta dos dados foi realizada pouco tempo após a gradagem e a subsolagem das áreas. Resultados semelhantes foram obtidos por Silva et al. (2008) e Rossetti e Centurion (2013).

Os manejos PD e PD+SA apresentaram os maiores valores de densidade do solo e os valores de porosidade total nesses tratamentos foram inversos aos de densidade. Já a macroporosidade foi similar ao da porosidade total, sendo os maiores valores obtidos nos preparos convencionais. Verificou-se que a subsolagem no PD no quarto ano não resultou em diferença em relação ao PD sem tal procedimento de preparo, mas foi menor em relação ao PC e PC+S, em que o revolvimento e a subsolagem eram anuais. Observou-se que a macroporosidade apresentou valores acima de $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ e a microporosidade valores de até $0,33 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$, sendo

considerados valores ideais para o crescimento radicular e o desenvolvimento das plantas (KIEHL, 1979; SILVA et al., 2008; NEVES JUNIOR et al., 2013).

Quadro 9. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na semeadura da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
PD	1,11 A ab	1,10 A b	1,04 A c	1,16 A a
PC	0,99 B a	0,99 B a	0,94 B b	0,95 C ab
PD+SA	1,12 A a	1,13 A a	1,09 A ab	1,07 B b
PC+S	0,96 B bc	0,98 B b	0,94 B c	1,04 B a
CV ^a (%)	2,50			
CV ^b (%)	1,99			
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,170 B bc	0,183 B ab	0,210 BC a	0,153 C c
PC	0,243 A a	0,250 A a	0,257 A a	0,260 A a
PD+SA	0,160 B b	0,160 B b	0,180 C ab	0,190 B a
PC+S	0,240 A a	0,240 A a	0,223 AB a	0,190 B b
CV ^a (%)	10,94			
CV ^b (%)	5,75			
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,317 A a	0,297 AB bc	0,290 AB c	0,310 A ab
PC	0,273 B a	0,270 C a	0,263 C a	0,243 B b
PD+SA	0,317 A a	0,313 A ab	0,300 A b	0,300 A b
PC+S	0,277 B b	0,277 BC b	0,270 BC b	0,307 A a
CV ^a (%)	4,38			
CV ^b (%)	2,50			
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,487 B b	0,480 B b	0,500 B a	0,463 B b
PC	0,516 A a	0,520 A a	0,520 A a	0,503 A a
PD+SA	0,477 B ab	0,473 B b	0,480 C ab	0,490 A a
PC+S	0,517 A a	0,517 A a	0,493 BC b	0,497 A b
CV ^a (%)	2,50			
CV ^b (%)	1,41			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Na profundidade de 0,05 a 0,10 m, os atributos físicos seguiram a mesma tendência citada anteriormente, onde o PD e PD+SA obtiveram os menores valores de porosidade total, diferenciando-se dos demais manejos do solo, em decorrência da

maior densidade também observada nessas áreas (Quadro 10). Silveira et al. (2008) encontraram maiores valores de densidade do solo no plantio direto contínuo na camada de 0,0 a 0,10 m, porém observaram redução da densidade com os tratamentos de plantio direto com aração a cada três anos e a cada dois anos. Sob os manejos em PD o valor para microporosidade foi maior do que nos demais manejos do solo.

Quadro 10. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na semeadura da safra 2012/13

Manejo do Solo	Sucessões de Culturas			
	SF	SM	MF	MM
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
PD	1,09 AB b	1,19 A a	1,10 AB b	1,17 A a
PC	1,00 C b	1,05 B a	1,04 BC ab	1,02 C ab
PD+SA	1,13 A a	1,14 A a	1,12 A a	1,12 AB a
PC+S	1,06 B ab	0,98 C c	1,02 C bc	1,08 BC a
CV ^a (%)	3,53			
CV ^b (%)	2,00			
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,193 B a	0,140 D b	0,190 B a	0,150 C b
PC	0,237 A a	0,210 B b	0,203 AB b	0,233 A a
PD+SA	0,183 B a	0,163 C a	0,163 C a	0,186 B a
PC+S	0,193 B b	0,240 A a	0,220 A a	0,140 C c
CV ^a (%)	6,07			
CV ^b (%)	4,90			
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,297 A ab	0,307 A a	0,290 AB b	0,307 B a
PC	0,273 B b	0,287 B ab	0,290 AB a	0,280 C ab
PD+SA	0,300 A a	0,307 A a	0,300 A a	0,300 B a
PC+S	0,297 A b	0,277 B c	0,287 B bc	0,330 A a
CV ^a (%)	1,62			
CV ^b (%)	2,05			
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,490 B a	0,447 D b	0,480 BC a	0,457 C b
PC	0,510 A a	0,497 B b	0,493 AB b	0,513 A a
PD+SA	0,483 B a	0,470 C b	0,463 C b	0,486 B a
PC+S	0,490 B c	0,517 A a	0,507 A b	0,470 C d
CV ^a (%)	1,79			
CV ^b (%)	1,11			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Nessa mesma camada menores valores de densidade do solo foram observados no PC que diferiu de todos os sistemas, inclusive do PC+S (Quadro 10). Diversos autores afirmam que apesar dos benefícios do PC na camada superficial, esse manejo do solo tende a apresentar uma estrutura mais compacta entre a superfície e a base de trabalho dos implementos utilizados, sendo esse efeito denominado de pé-de-grade (SILVA et al., 2008; FUENTES-LLANILLO et al., 2013).

Quanto à sucessão de culturas o efeito mais pronunciado ocorreu no PD, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, onde as áreas com resíduos de feijão da safrinha (SF e MF) apresentaram as menores densidades do solo, bem como, maiores valores de macroporosidade e porosidade total. Silva et al. (2008) também verificaram maiores valores de porosidade total e macroporosidade nas sucessões de culturas, onde o cultivo anterior foi uma leguminosa, sendo as alterações proporcionadas principalmente na camada de 0,0 a 0,10 m.

Para a estabilidade de agregados observou-se que as áreas em plantio direto que receberam subsolagem no ano anterior (PD+SA) mantiveram os valores elevados para o DMG, DMP, IEA e AGRI, sendo semelhante ao PD nas sucessões SF, SM e MM (Quadro 11). Destaca-se que, na camada de 0,0 a 0,05 m, a elevada estabilidade de agregados no sistema em plantio direto foi semelhante em todas as sucessões, mesmo na área com subsolagem no ano anterior. Isso evidencia que a manutenção dos agregados nesses sistemas não foi dependente somente das espécies cultivadas, podendo ser influenciada pelos fatores fundamentais na agregação do solo, como a quantidade de matéria orgânica que tende a se concentrar na camada superficial nesses sistemas (WENDLING et al., 2005), os micro-organismos e até mesmo a composição textural do solo (BRONICK e LAL, 2005).

O PC apresentou os menores parâmetros de estabilidade entre os manejos avaliados em todas as sucessões de culturas, exceto na sucessão MF onde os resultados foram semelhantes aos demais sistemas. Já para os efeitos das sucessões de culturas, observou-se que o PC apresentou diferenças entre as sucessões utilizadas, obtendo-se menores valores de DMP e AGRI na sucessão SF, enquanto o PC+S foi inferior nesses mesmos parâmetros na sucessão SM. Nos sistemas convencionais, a ruptura dos agregados ocasionada pelo revolvimento do solo pode acelerar as perdas de matéria orgânica (WENDLING et al., 2005), aumentando assim

a necessidade de utilização de plantas nas sucessões que contribuem para a manutenção dos agregados no solo.

Quadro 11. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na semeadura da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,54 A a	2,64 A a	2,37 B a	2,49 AB a
PC	2,14 B a	2,32 BC a	2,43 AB a	2,25 BC a
PD+SA	2,63 A a	2,54 AB a	2,66 A a	2,54 A a
PC+S	2,46 A a	2,17 C a	2,36 B a	2,17 C a
CV ^a (%)	3,37			
CV ^b (%)	5,46			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,80 A a	2,83 A a	2,70 B a	2,76 AB a
PC	2,54 B b	2,64 BC ab	2,75 AB a	2,63 AB ab
PD+SA	2,82 A a	2,80 AB a	2,87 A a	2,78 A a
PC+S	2,77 A a	2,58 C b	2,69 B ab	2,61 B ab
CV ^a (%)	1,43			
CV ^b (%)	3,04			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	97,65 AB a	98,12 A a	96,96 A a	97,50 AB a
PC	96,10 C a	97,17 A a	96,84 A a	96,28 BC a
PD+SA	98,48 A a	97,57 A a	97,93 A a	97,77 A a
PC+S	97,05 BC a	95,73 B ab	97,01 A a	95,38 C b
CV ^a (%)	0,59			
CV ^b (%)	0,66			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	90,41 A a	91,42 A a	85,79 AB a	88,42 A a
PC	77,04 B b	82,01 BC ab	88,26 AB a	82,73 A ab
PD+SA	91,06 A a	90,40 AB a	93,85 A a	89,04 A a
PC+S	89,12 A a	79,14 C b	84,92 B ab	81,29 A ab
CV ^a (%)	2,31			
CV ^b (%)	4,93			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Na profundidade de 0,05 a 0,10 m a mesma tendência foi observada, com o PD e o PD+SA destacando-se com maior estabilidade dos agregados do solo (Quadro

12). Nessa camada, o efeito das sucessões foi mais pronunciado do que em superfície, apresentando diferenças em todos os manejos. Verificou-se que no PD, PD+SA e o PC os menores valores foram observados na sucessão MF.

Quadro 12. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na semeadura da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,69 A a	2,69 A a	2,48 A b	2,55 A ab
PC	2,26 B a	2,32 B a	2,04 B b	2,42 A a
PD+SA	2,62 A a	2,49 AB ab	2,35 A b	2,55 A a
PC+S	2,54 A a	2,30 B bc	2,39 A ab	2,11 B c
CV ^a (%)	4,90			
CV ^b (%)	3,71			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,85 A ab	2,86 A a	2,74 A b	2,76 A ab
PC	2,63 B a	2,66 B a	2,51 B b	2,73 A a
PD+SA	2,85 A a	2,73 AB ab	2,66 A b	2,80 A a
PC+S	2,79 A a	2,64 B bc	2,73 A ab	2,55 B c
CV ^a (%)	2,73			
CV ^b (%)	1,95			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	98,97 A a	98,53 A a	97,96 A a	98,52 A a
PC	96,40 C a	96,77 B a	94,90 C b	97,18 B a
PD+SA	97,92 AB a	98,18 A a	97,28 AB a	97,75 AB a
PC+S	97,75 B a	96,79 B a	96,71 B ab	95,57 C b
CV ^a (%)	0,52			
CV ^b (%)	0,53			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	92,21 A a	93,34 A a	87,37 A a	87,69 A a
PC	82,42 B a	84,03 B a	76,08 B b	87,20 A a
PD+SA	92,65 A a	86,53 B ab	82,39 AB b	90,03 A a
PC+S	90,12 A a	82,35 B bc	87,45 A ab	79,00 B c
CV ^a (%)	4,29			
CV ^b (%)	3,15			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

A sucessão MM prejudicou a agregação do solo no PC+S, corroborando com os resultados de Corrêa (2002) que obtiveram maior fracionamento dos agregados do solo em monocultivo de soja e sistema de preparo do solo com grade aradora e niveladora.

Kochhann et al. (2000) afirmam que áreas que sofreram intervenção mecânica tendem a acomodação das partículas, e com o passar do tempo a reconsolidação do solo, sendo necessária a utilização de sucessão de plantas com sistema radicular abundante e que incremente o teor de matéria orgânica para estabilizar os agregados do solo.

4.2.2. 2º época de amostragem do solo: colheita

Na última coleta realizada na colheita da safra 2012/13, também foram observadas interações significativas, porém, ao contrário das demais coletas, o efeito das sucessões de culturas foi mais pronunciado sobre as propriedades físicas do que o manejo do solo, na camada de 0,0 a 0,05 m (Quadro 13). A densidade do solo foi influenciada pelas sucessões no PD, em que as sucessões MF e MM apresentaram diferenças significativas em relação as sucessões SF e SM, com menores valores de densidade do solo. Além disso, as sucessões com milho na safra, também obtiveram maiores valores de macroporosidade e porosidade total, correspondendo à melhoria na densidade do solo.

O efeito da cultura do milho nos atributos físicos, pode ter ocorrido devido ao seu desenvolvimento radicular ter favorecido os espaços porosos do solo, visto que a cultura apresenta maior comprimento radicular e matéria seca mesmo quando cultivada em solos com densidades mais elevadas (GENRO JUNIOR et al., 2004; FREDDI et al., 2007; REINERT et al., 2008). Reinert et al. (2008) enfatizam que plantas de milho atuam na formação e estabilização de agregados e de poros no solo. Para Foloni et al. (2003) as modificações físicas em subsuperfície podem alterar a distribuição do sistema radicular do milho, porém não diminui a produção total de raízes, que passam a crescer predominantemente na camada superficial do solo. Da mesma forma, Bordin et al. (2008) observaram que em plantio direto a profundidade efetiva do sistema radicular do milho foi menor do que da soja, enquanto a matéria seca de raízes foi maior no milho ($2,50 \text{ Mg ha}^{-1}$) do que na soja ($1,94 \text{ Mg ha}^{-1}$). Entretanto, resultados divergentes foram encontrados por Bergamin et al. (2010) que

analisando a camada superficial de uma Latossolo Vermelho distroférico com compactação adicional, verificaram que o aumento da densidade e a redução da macroporosidade influenciaram negativamente o comprimento de raízes de milho em sistemas de plantio direto.

Quadro 13. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,00 a 0,05 m, na colheita da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
PD	1,10 A a	1,09 A a	0,98 B b	0,99 B b
PC	1,03 B a	1,00 B a	0,97 B a	1,01 AB a
PD+SA	1,05 AB b	1,09 A ab	1,12 A a	1,06 A ab
PC+S	1,00 B a	0,96 B a	0,96 B a	1,00 AB a
CV ^a (%)	1,77			
CV ^b (%)	3,06			
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,147 B c	0,147 B c	0,197 B b	0,223 A a
PC	0,220 A a	0,227 A a	0,227 A a	0,210 A a
PD+SA	0,197 A a	0,150 B b	0,140 C b	0,150 B b
PC+S	0,200 A a	0,217 A a	0,217 AB a	0,203 A a
CV ^a (%)	4,66			
CV ^b (%)	6,11			
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,320 A a	0,330 A a	0,313 A a	0,290 A b
PC	0,297 B a	0,280 B a	0,290 B a	0,297 A a
PD+SA	0,303 AB b	0,313 A ab	0,327 A a	0,310 A ab
PC+S	0,310 AB a	0,320 A a	0,307 AB a	0,310 A a
CV ^a (%)	3,29			
CV ^b (%)	2,90			
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,467 B b	0,477 C b	0,510 A a	0,513 A a
PC	0,517 A a	0,507 B a	0,517 A a	0,507 A a
PD+SA	0,500 A a	0,463 C b	0,467 B b	0,460 B b
PC+S	0,510 A b	0,537 A a	0,524 A ab	0,513 A b
CV ^a (%)	2,18			
CV ^b (%)	1,64			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Os atributos físicos, densidade do solo, macroporosidade e porosidade total não apresentaram diferenças para o PD e o PD+SA, na profundidade de 0,05 a 0,10 m (Quadro 14), corroborando com a idéia de que, a operação de subsolagem torna-se desnecessária em sistemas conservacionistas, pois em longo prazo, a qualidade física do solo pode ser melhorada com a prática de rotação ou sucessão de culturas.

Quadro 14. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na colheita da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Densidade do Solo (Mg m^{-3})				
PD	1,22 A a	1,22 A a	1,18 A a	1,11 A b
PC	1,16 B a	1,04 B bc	1,00 B c	1,06 B b
PD+SA	1,21 A a	1,21 A a	1,16 A b	1,10 AB c
PC+S	1,07 C a	0,99 C b	0,99 B b	0,98 C b
CV ^a (%)	1,73			
CV ^b (%)	1,62			
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,120 C b	0,110 B b	0,147 B a	0,163 C a
PC	0,147 AB b	0,200 A a	0,193 A a	0,190 B a
PD+SA	0,137 BC a	0,117 B a	0,127 B a	0,140 C a
PC+S	0,163 A b	0,220 A a	0,210 A a	0,230 A a
CV ^a (%)	5,86			
CV ^b (%)	6,69			
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,320 A b	0,340 A a	0,310 AB b	0,307 AB b
PC	0,313 AB a	0,303 B a	0,303 B a	0,310 A a
PD+SA	0,300 B b	0,317 B a	0,327 A a	0,320 A a
PC+S	0,323 A a	0,300 B b	0,300 B b	0,290 B b
CV ^a (%)	3,64			
CV ^b (%)	2,14			
Volume Total de Poros ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)				
PD	0,440 C c	0,450 B bc	0,457 B ab	0,470 B a
PC	0,460 B b	0,503 A a	0,496 A a	0,500 A a
PD+SA	0,437 C bc	0,434 B c	0,454 B ab	0,460 B a
PC+S	0,486 A b	0,520 A a	0,510 A ab	0,520 A a
CV ^a (%)	1,54			
CV ^b (%)	2,05			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Destaca-se que a sucessão MM e MF apresentaram as menores densidades, maiores macroporosidade e porosidade total em todos os sistemas de manejos estudados, possivelmente devido ao desenvolvimento superficial das raízes do milho.

Verificou-se que no PD+SA foi o manejo do solo com melhor estabilidade de agregados na camada de 0,0 a 0,05 m, porém a semelhança com o PD ocorreu somente nas sucessões SF e SM (Quadro 15). Com o crescimento e desenvolvimento das culturas nas áreas, observou-se diferenças entre as sucessões de culturas, evidenciando que o desenvolvimento do sistema radicular e os resíduos do cultivo anterior influenciaram a agregação dos solos. No PD+SA a diferença entre as sucessões proporcionaram menores DMP na sucessão SM, refletindo diretamente em menores quantidades de agregados de diâmetro superior a 2 mm.

O PC e o PC+S apresentaram menores valores para o DMG, DMP, IEA e AGRI, principalmente na sucessão SF, que já foi constatada como uma sucessão de culturas não indicada para manejos convencionais na região de realização do experimento, possivelmente devido a menor exploração radicular do perfil do solo pelas leguminosas, o que proporcionou uma menor agregação do solo, conforme também observado por Calonego e Rosolem et al. (2008).

Na profundidade de 0,05 a 0,10 m não foi observada uma tendência entre as interações de manejos com sucessões, entretanto, verificou-se que na sucessão SF, os manejos convencionais permaneceram com os menores valores para os parâmetros avaliados, enquanto o PD+SA apresentou elevada estabilidade de agregados nessa sucessão (Quadro 16).

Esperava-se que o plantio direto com intervenção fosse aquele que mais modificasse o solo, mas provavelmente por ter sido mantido sob plantio direto por cinco anos e, somente no quarto ano ter sofrido subsolagem, talvez esse distúrbio ainda não tenha tido tempo suficiente para provocar grandes alterações quando comparado ao solo sob plantio direto sem intervenção.

Quadro 15. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,0 a 0,05 m, na colheita da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,32 A ab	2,37 AB a	2,13 C b	2,28 B ab
PC	1,96 B c	2,24 B b	2,30 BC b	2,54 A a
PD+SA	2,54 A a	2,44 AB a	2,57 A a	2,64 A a
PC+S	1,74 B c	2,49 A a	2,48 AB a	2,22 B b
CV ^a (%)	5,48			
CV ^b (%)	4,02			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,63 A ab	2,69 A a	2,52 C b	2,62 B ab
PC	2,40 B c	2,61 A b	2,63 BC ab	2,78 A a
PD+SA	2,76 A ab	2,68 A b	2,78 A ab	2,83 A a
PC+S	2,22 C c	2,75 A a	2,69 AB ab	2,57 B b
CV ^a (%)	2,84			
CV ^b (%)	2,58			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	97,14 AB a	96,94 AB a	95,42 C b	96,84 A ab
PC	95,67 BC b	96,15 B b	97,09 B ab	97,90 A a
PD+SA	98,17 A a	98,12 A a	98,24 AB a	98,31 A a
PC+S	94,93 C c	97,58 AB ab	98,75 A a	97,08 A b
CV ^a (%)	0,79			
CV ^b (%)	0,65			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	79,92 A ab	84,81 A a	75,92 B b	80,67 BC ab
PC	70,46 B b	80,99 A a	80,99 B a	88,44 AB a
PD+SA	87,55 A ab	81,43 A b	88,91 A ab	91,95 A a
PC+S	61,61 C c	87,91 A a	83,02 AB ab	77,86 C b
CV ^a (%)	4,80			
CV ^b (%)	4,16			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

Quadro 16. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregado e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, na profundidade de 0,05 a 0,10 m, na colheita da safra 2012/13

Manejo do solo	Sucessões de culturas			
	SF	SM	MF	MM
Diâmetro médio geométrico (mm)				
PD	2,19 B b	2,39 A a	2,11 B b	2,09 C b
PC	2,22 B c	2,06 C d	2,43 A b	2,66 A a
PD+SA	2,53 A a	2,17 BC c	2,39 A ab	2,33 B b
PC+S	2,12 B ab	2,24 B a	2,09 B b	2,17 C ab
CV ^a (%)	1,29			
CV ^b (%)	3,03			
Diâmetro médio ponderado (mm)				
PD	2,56 B b	2,70 A a	2,50 B bc	2,43 D c
PC	2,52 B b	2,49 B b	2,73 A a	2,85 A a
PD+SA	2,76 A a	2,52 B c	2,63 A b	2,69 B ab
PC+S	2,53 B a	2,57 B a	2,46 B a	2,56 C a
CV ^a (%)	0,87			
CV ^b (%)	1,95			
Índice de estabilidade de agregado (%)				
PD	96,69 B b	97,16 A ab	96,61 B b	97,42 B a
PC	97,70 A ab	95,55 B c	97,12 B b	98,32 A a
PD+SA	98,15 A a	96,96 A b	98,60 A a	96,62 C b
PC+S	96,03 C c	97,46 A a	96,65 B bc	96,75 C b
CV ^a (%)	0,29			
CV ^b (%)	0,30			
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)				
PD	78,57 B b	85,51 A a	75,05 BC bc	69,12 D c
PC	73,99 B b	75,54 B b	87,44 A a	92,69 A a
PD+SA	87,83 A a	74,30 B c	80,68 B bc	85,14 B ab
PC+S	77,49 B a	77,61 B a	72,17 C a	78,52 C a
CV ^a (%)	1,51			
CV ^b (%)	3,78			

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem no ano anterior; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho. Médias seguidas de mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. CV^a: coeficiente de variação referente ao manejo do solo (parcelas); CV^b: coeficiente de variação referente às sucessões de culturas (subparcelas).

5. CONCLUSÕES

Não há necessidade de mobilização do solo, mesmo que esporadicamente, com subsolador no sistema de plantio direto.

O plantio direto apresenta maior estabilidade de agregados, independentemente da sucessão de cultura utilizada.

Os sistemas com revolvimento do solo apresentam condições físicas favoráveis após a mobilização do solo, no entanto, retornam rapidamente as condições restritivas para o desenvolvimento das plantas.

Os sistemas convencionais de manejo do solo são mais dependentes das espécies vegetais em sucessões de culturas para melhorarem os atributos físicos do solo.

A sucessão de culturas favorece os sistemas de manejos do solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. (Org.). **Geodiversidade do estado de Rondônia**: programa geologia do Brasil - levantamento da geodiversidade. Porto Velho: CPRM, 2010. 337p.

ALMEIDA, V. P.; ALVES, M. C.; SILVA, E. C.; OLIVEIRA, S. A. Rotação de culturas e propriedades físicas e químicas em Latossolo Vermelho de Cerrado sob preparo convencional e semeadura direta em adoção. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.3, p.1227-1237, 2008.

AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; CHIAPINOTTO, I. C.; FRIES, M. R. Consorciação de plantas de cobertura antecedendo o milho em plantio direto: dinâmica do nitrogênio no solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.4, p.739-749, 2004.

ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, p.873-928, 2007.

ARATANI, R. G.; FREDDI, O. S.; CENTURION, J. F.; ANDRIOLI, I. Qualidade física de um Latossolo Vermelho acriférrico sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.3, p.677-687, 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**, v.28, n.2, p.337-345, 2004.

ARAÚJO, R.; GOEDERT, W. J.; LACERDA, M. P. C. Qualidade de um solo sob diferentes usos e sob cerrado nativo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.5, p.1099-1108, 2007.

ARGENTON, J.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; WILDNER, L. P. Comportamento de atributos relacionados com a forma da estrutura de Latossolo Vermelho sob sistemas de preparo e plantas de cobertura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.3, p.425-435, 2005.

BAKER, C. J.; SAXTON, K. E.; RITCHIE, W. R. **No-tillage seeding: science and practice**. Wallingford, CAB International, 1996. 258p.

BERGAMIN, A. C.; VITORINO, A. C. T.; FRANCHINI, J. C.; SOUZA, C. M. A.; SOUZA, F. R. Compactação em um Latossolo Vermelho Distroférrico e suas relações com o crescimento radicular do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.3, p.681-691, 2010.

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**, v.28, n.1, p.155-163, 2004.

BILIBIO, W. D.; CORRÊA, G. F.; BORGES, E. N. Atributos físicos e químicos de um Latossolo, sob diferentes sistemas de cultivo. **Ciência & Agrotecnologia**, v.34, n.4, p.817-822, 2010.

BOER, C. A.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; BRAZ, A. J. B. P.; BARROSO, A. L. L.; CARGNELUTTI FILHO, A.; PIRES, F. R. Biomassa, decomposição e cobertura do solo ocasionada por resíduos culturais de três espécies vegetais na região centro-oeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.2, p.843-851, 2008.

BOLLIGER, A.; MAGRID, J.; AMADO, T. J. C.; SKÓRA NETO, F.; RIBEIRO M. F. S.; CALEGARI, A.; NEERGARD, A. Taking stock of the brazilian “zero-till revolution”: A review of landmark research and farmers practice. **Advances in Agronomy**, v.91, p.47-110, 2006.

BORDIN, I.; NEVES, C. S. V. J.; MEDINA, C. C.; SANTOS, J. C. F.; TORRES, E.; URQUIAGA, S. Matéria seca, carbono e nitrogênio de raízes de soja e milho em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.12, p.1785-1792, 2008.

BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v.124, n.1-2, p.3-22, 2005.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Estabilidade de agregados do solo após manejo com rotações de culturas e escarificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.4, p.1399-1407, 2008.

CARNEIRO, M. A. C.; SOUZA, E. D.; REIS, E. F.; PEREIRA, H. S.; AZEVEDO, W. R. Atributos físicos, químicos e biológicos de solo de cerrado sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.1, p.147-157, 2009.

CASTRO FILHO, C. Atributos do solo avaliados pelos seus agregados. In: MORAES, M. H.; MÜLLER, M. M. L.; FOLONI, J. S. S. **Qualidade física do solo: métodos de estudo - sistemas de preparo e manejo do solo**. Jaboticabal: Funep, 2002. p.21-46.

CASTRO FILHO, C.; MUZILLI, O.; PODANOSCHI, A. L. Estabilidade dos agregados e sua relação com o teor de carbono orgânico num Latossolo Roxo distrófico, em função de sistemas de plantio, rotações de culturas e métodos de preparo das amostras. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.3, p.527-538, 1998.

CLAESSEN, M. E. C. (Org.). **Manual de métodos de análises de solo**. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997. 212p. (Documentos, 1).

COLLARES, G. L.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; KAISER, D. R. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.11, p.1663-1674, 2006.

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

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

COSTA, A. M.; RIBEIRO, B. T.; SILVA, A. A.; BORGES, E. N. Estabilidade dos agregados de um Latossolo Vermelho tratado com cama de peru. **Ciência e Agrotecnologia**, v.32, n.1, p.73-79, 2008.

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

COSTA, F. S.; ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.527-535, 2003.

CRAVO, M. S.; SMYTH, T. J. Manejo sustentado da fertilidade de um Latossolo da Amazônia central sob cultivos sucessivos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.4, p.607-616, 1997.

DEBIASI, H.; LEVIEN, R.; TREIN, C. R.; CONTE, O.; KAMIMURA, K. M. Produtividade de soja e milho após coberturas de inverno e descompactação mecânica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.45, n.6, p.603-612, 2010.

DEXTER, A. R.; CZYZ, E. A.; GATE, O. P. A method for prediction of soil penetration resistance. **Soil and Tillage Research**, v.93, n.2, p.412-419, 2007.

DIAS-FILHO, M. B. **Degradação de pastagens: processos, causas e estratégias de recuperação**. 3. ed. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2007. 190p.

FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.6, p.1097-1104, 2003.

FEBRAPDP - Federação Brasileira de Plantio Direto na Palha. **Evolução da área de plantio direto no Brasil**. Disponível em: <http://www.febrapdp.org.br>. Acesso: 10 fev 2014.

FERNANDES, L. C.; GUIMARÃES, S. C. P. (Coords.). **Atlas geoambiental de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, 2003.138p.

FERREIRA, G. M. **Atividade microbiana e agregação de um Latossolo Vermelho distroférico em Campinas, SP, sob usos e manejos distintos.** Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) - Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas, 2008. 84p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, n.3, p.515-524, 1999.

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**, v.38, n.8, p.947-953, 2003.

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**, v.31, n.4, p.627-636, 2007.

FUENTES-LLANILLO, R.; GUIMARÃES, M. F.; TAVARES FILHO, J. Morfologia e propriedades físicas de solo segundo sistemas de manejo em culturas anuais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.524-530, 2013.

FUENTES-LLANILLO, R.; RICHART, A.; TAVARES FILHO, J.; GUIMARÃES, M. F.; FERREIRA, R. R. M. Evolução de propriedades físicas do solo em função dos sistemas de manejo em culturas anuais. **Semina: Ciências Agrárias**, v.27, n.2, p.205-220, 2006.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo Argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.3, p.477-484, 2004.

GENRO JUNIOR, S. A.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; ALBUQUERQUE, J. A. Atributos físicos de um Latossolo Vermelho e produtividade de culturas cultivadas em sucessão e rotação. **Ciência Rural**, v.39, n.1, p.65-73, 2009.

GIRARDELLO, V. C.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; HÖRBE, T. A. N.; FERREIRA, A. O.; TABALDI, F. M.; LANZANOVA, M. E. Alterações nos atributos físicos de um Latossolo Vermelho sob plantio direto induzidas por diferentes tipos de escarificadores e o rendimento da soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2115-2126, 2011.

HICKMANN, C.; COSTA, L. M.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FERNANDES, R. B. A. Morfologia e estabilidade de agregados superficiais de um Argissolo Vermelho-Amarelo sob diferentes manejos de longa duração e Mata Atlântica secundária. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.6, p.2191-2198, 2011.

HOBBS, P. R. Conservation agriculture: What is it and why is it important for future sustainable food production? **Journal of Agricultural Science**, v.145, p.127-137, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção agrícola municipal**: culturas temporárias e permanentes. v. 39. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2012a. 101p.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **SIDRA - Banco de dados agregados**. 2012b. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 abr. 2012.

JIAO, Y.; WHALEN, J. K.; HENDERSHOT, W. H. No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. **Geoderma**, v.134, n.1-2, p.24-33, 2006.

JORGE, R. F.; ALMEIDA, C. X.; BORGES, E. N.; PASSOS, R. R. Distribuição de poros e densidade de Latossolos submetidos a diferentes sistemas de uso e manejo. **Bioscience Journal**, v.28, Supplement 1, p.159-169, 2012.

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. p.499-510.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relação solo-planta. São Paulo: Agronômica Ceres, 1979. 262p.

KOCHHANN, R. A.; DENARDIN, J. E.; BERTON, A. L. **Compactação e descompactação de solos**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2000. 20p. (Documentos, 19).

LAL, R.; LOGAN, T. J. Agricultural activities and greenhouse gas emissions from soils of the tropics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; LEVINE, E.; STEWART, B. A. (eds.) **Soil management greenhouse effect**. Boca Raton, CRC Press, 1995. p.293-307.

LEITE, L. F. C.; FREITAS, R. C. A.; SAGRILO, E.; GALVÃO, S. R. S. Decomposição e liberação de nutrientes de resíduos vegetais depositados sobre Latossolo Amarelo no Cerrado Maranhense. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, n.1, p.29-35, 2010.

LIMA, H. V.; LIMA, C. L. R.; LEÃO, T. P.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; ROMERO, R. E. Tráfego de máquinas agrícolas e alterações de bioporos em área sob pomar de laranja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, n.5, p.677-684, 2005.

LOURENTE, E. R. P.; MERCANTE, F. M.; ALOVISI, A. M. T.; GOMES, C. F.; GASPARINI, A. S.; NUNES, C. M. Atributos microbiológicos, químicos e físicos de solo sob diferentes sistemas de manejo e condições de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.41, n.1, p.20-28, 2011.

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**, v.30, n.1, p.163-170, 2006.

MARCOLAN, A. L.; LOCATELLI, M.; FERNANDES, S. R. **Atributos químicos e físicos de um Latossolo e rendimento de milho em diferentes sistemas de manejo da capoeira**. Porto Velho: Embrapa Rondônia, 2009. 6p. (Comunicado Técnico, 352).

MUZILLI, O. O uso dos solos na Mata de Araucária. In: ARAÚJO, Q. R. (ed.). **500 anos de uso do solo no Brasil**. Ilheus, Editus, 2002, p.435-445.

NEVES JUNIOR, A. F.; SILVA, A. P.; NORONHA, N. C.; CERRI, C. C. Sistemas de manejo do solo na recuperação de uma pastagem degradada em Rondônia. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.1, p.232-241, 2013.

NUMATA, I.; SOARES, J. V.; LEÔNIDAS, F. C. Comparação da fertilidade de solos em Rondônia com diferentes tempos de conversão de floresta em pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, n.4, p.949-955, 2002.

OLIVEIRA, G. C.; DIAS JUNIOR, M. S.; RESK, D. V. S.; CURI, N. Caracterização química e físico-hídrica de um Latossolo Vermelho após vinte anos de manejo e cultivo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, n.2, p.327-336, 2004.

PACHECO, L. P.; LEANDRO, W. M.; MACHADO, P. L. O. A.; ASSIS, R. L.; COBUCCI, T.; MADARI, B. E.; PETTER, F. A. Produção de fitomassa e acúmulo e liberação de nutrientes por plantas de cobertura na safrinha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.1, p.17-25, 2011.

PANACHUKI, E.; BERTOL, I.; ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B. Perdas de solo e de água e infiltração de água em Latossolo Vermelho sob sistemas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.5, p.1777-1785, 2011.

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

REINERT, D. J.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M.; AITA, C.; ANDRADA, M. M. C. Limites críticos de densidade do solo para o crescimento de raízes de plantas de cobertura em Argissolo Vermelho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1805-1816, 2008.

RONDÔNIA. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). **Boletim climatológico de Rondônia - 2010**. v. 12. Porto Velho: COGEO: SEDAM, 2012.

ROSSETTI, K. V.; CENTURION, J. F. Sistemas de manejo e atributos físico-hídricos de um Latossolo Vermelho cultivado com milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.5, p.472-479, 2013.

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**, v.32, n.1, p.11-21, 2008.

SCHLINDWEIN, J. A.; MARCOLAN, A. L.; FIORELI-PERIRA, E. C.; PEQUENO, P. L. L.; MILITÃO, J. S. T. L. Solos de Rondônia: usos e perspectivas. **Revista Brasileira de Ciências da Amazônia**, v.1, n.1, p.213-231, 2012.

SECCO, D.; 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**, v.29, n.3, p.407-414, 2005.

SILVA, A. P.; TORMENA, C. A.; DIAS JUNIOR, M. S.; IMHOFF, S.; KLEIN, V. A. Indicadores de qualidade física do solo. In: van LIER, Q. J. (Ed.). **Física do solo**. Viçosa: SBCS, p.241-281, 2010.

SILVA, D. A.; SOUZA, L. C. F.; VITORINO, A. C. T.; GONÇALVES, M. C. Aporte de fitomassa pelas sucessões de culturas e sua influência em atributos físicos do solo no sistema plantio direto. **Bragantia**, v.70, n.1, p.147-156, 2011.

SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2 ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627p.

SILVA, I. F.; MIELNICZUK, J. Sistemas de cultivo e características do solo afetando a estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.22, n.2, p.311-317, 1998.

SILVA, M. G.; ARF, O.; ALVES, M. C.; BUZETTI, S. Sucessão de culturas e sua influência nas propriedades físicas do solo e na produtividade do feijoeiro de inverno irrigado, em diferentes sistemas de manejo do solo. **Bragantia**, v.67, n.2, p.335-347, 2008.

SILVA, R. C.; PEREIRA, J. M.; ARAÚJO, Q. R.; PIRES, A. J. V.; DEL REI, A. J. Alterações nas propriedades químicas e físicas de um Chernossolo com diferentes coberturas vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.1, p.101-107, 2007.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVA, J. G. Efeitos do manejo do solo sob plantio direto e de culturas na densidade e porosidade de um Latossolo. **Bioscience Journal**, v.24, n.3, p.53-59, 2008.

SILVEIRA NETO, A. N.; SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Efeitos de manejo e rotação de culturas em atributos físicos do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.36, n.1, p.29-35, 2006.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; FONTANELI, R. S.; TOMM, G. O. Efeito de pastagens de inverno e de verão em características físicas de solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.36, n.4, p.1193-1200, 2006.

SPERA, S. T.; SANTOS, H. P.; TOMM, G. O.; KOCHHANN, R. A.; ÁVILA, A. Atributos físicos do solo em sistemas de manejo de solo e de rotação de culturas. **Bragantia**, v.68, n.4, p.1079-1093, 2009.

SUZUKI, L. E. A. S.; ALVES, M. C. Fitomassa de plantas de cobertura em diferentes sucessões de culturas e sistemas de cultivo. **Bragantia**, v.65, n.1, p.121-127, 2006.

TORRES, J. L. R.; FABIAN, A. J.; PEREIRA, M. G. Alterações dos atributos físicos de um Latossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de manejo. **Ciência & Agrotecnologia**, v.35, n.3, p.437-445, 2011.

VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, n.1, p.213-223, 2011.

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

APÊNDICE A

Apêndice A. Densidade do solo, macroporosidade, microporosidade e porosidade total em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, em duas profundidades, na implantação dos experimentos. Rolim de Moura, 2011.

Manejo do solo	Sucessão de culturas							
	SF	SM	MF	MM	SF	SM	MF	MM
	----- (0,0-0,05 m)-----				----- (0,05-0,10 m) -----			
Densidade do Solo (Mg m^{-3})								
PD	1,11	1,05	1,12	1,15	1,14	1,08	1,11	1,12
PC	1,08	1,00	1,06	1,01	1,09	1,08	1,14	1,11
PD+S	1,11	1,10	1,20	1,10	1,18	1,18	1,13	1,18
PC+S	1,00	0,99	1,05	1,03	1,00	1,05	1,07	1,07
Macroporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)								
PD	0,163	0,197	0,173	0,143	0,177	0,203	0,183	0,177
PC	0,153	0,197	0,160	0,190	0,133	0,153	0,117	0,140
PD+S	0,157	0,167	0,107	0,153	0,147	0,117	0,133	0,123
PC+S	0,177	0,207	0,157	0,163	0,203	0,187	0,167	0,163
Microporosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)								
PD	0,320	0,307	0,313	0,337	0,290	0,297	0,303	0,303
PC	0,330	0,313	0,327	0,327	0,340	0,340	0,357	0,343
PD+S	0,330	0,330	0,340	0,340	0,317	0,343	0,340	0,343
PC+S	0,350	0,307	0,347	0,327	0,300	0,320	0,330	0,340
Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)								
PD	0,483	0,504	0,486	0,480	0,467	0,500	0,486	0,480
PC	0,483	0,510	0,487	0,517	0,473	0,493	0,474	0,483
PD+S	0,487	0,497	0,447	0,493	0,464	0,460	0,473	0,466
PC+S	0,527	0,514	0,504	0,490	0,503	0,507	0,497	0,503

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho.

APÊNDICE B

Apêndice B. Diâmetro médio geométrico, diâmetro médio ponderado, índice de estabilidade de agregados e índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm em áreas cultivadas com diferentes sucessões de culturas e sistemas de manejo do solo, em duas profundidades, na implantação dos experimentos. Rolim de Moura, 2011

Manejo do solo	Sucessão de culturas							
	SF	SM	MF	MM	SF	SM	MF	MM
	----- (0,0-0,05 m) -----				----- (0,05-0,10 m) -----			
Diâmetro médio geométrico (mm)								
PD	1,79	1,86	2,16	2,15	2,35	2,16	2,34	2,44
PC	1,87	1,94	2,37	1,84	2,10	2,23	2,28	2,52
PD+S	1,92	2,39	2,33	2,55	2,44	2,52	2,56	2,29
PC+S	2,11	2,24	2,14	2,23	1,76	2,47	2,39	2,48
Diâmetro médio ponderado (mm)								
PD	2,31	2,37	2,55	2,54	2,66	2,53	2,64	2,69
PC	2,37	2,44	2,68	2,34	2,51	2,58	2,63	2,75
PD+S	2,40	2,70	2,65	2,77	2,71	2,76	2,79	2,62
PC+S	2,52	2,61	2,56	2,62	2,27	2,74	2,70	2,74
Índice de estabilidade de agregado (%)								
PD	93,43	93,70	96,23	96,07	97,49	96,84	97,44	98,22
PC	94,36	93,63	97,06	94,27	95,90	96,77	96,81	98,13
PD+S	94,53	97,08	97,04	98,12	97,80	98,08	98,22	96,90
PC+S	96,07	96,55	95,77	96,14	94,36	97,62	97,20	97,70
Índice de agregados de diâmetro superior a 2 mm (%)								
PD	68,30	70,01	78,46	78,15	83,44	76,90	82,40	84,95
PC	70,23	74,56	84,58	68,50	76,14	79,48	82,01	87,65
PD+S	71,35	85,94	83,47	88,91	85,64	88,40	89,88	81,62
PC+S	77,66	81,53	78,81	82,19	65,96	88,20	85,53	87,46

PD: plantio direto; PC: preparo convencional; PD+SA: plantio direto com subsolagem; PC+S: preparo convencional com subsolagem. S: soja, F: feijão, M: milho.