

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONTRIBUIÇÃO DA CULTURA DE ENTRESSAFRA PARA A
ESTRUTURAÇÃO DO SOLO EM ÁREA SOB SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Mariele Monique Honorato Fernandes

Engenheira Agrônoma

2018

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**CONTRIBUIÇÃO DA CULTURA DE ENTRESSAFRA PARA A
ESTRUTURAÇÃO DO SOLO EM ÁREA SOB SISTEMA DE
SEMEADURA DIRETA**

Discente: Mariele Monique Honorato Fernandes

Orientadora: Profa. Dra. Carolina Fernandes

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

2018

F363c

Fernandes, Mariele Monique Honorato

Contribuição da cultura de entressafra para a estruturação do solo em área sob sistema de semeadura direta / Mariele Monique Honorato Fernandes. -- Jaboticabal, 2018

30 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientadora: Carolina Fernandes

1. agregação do solo. 2. porosidade do solo. 3. sistema de semeadura direta. 4. sistema de preparo convencional. 5. vegetação espontânea. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: CONTRIBUIÇÃO DA CULTURA DE ENTRESSAFRA PARA A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO EM ÁREA SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

AUTORA: MARIELE MONIQUE HONORATO FERNANDES

ORIENTADORA: CAROLINA FERNANDES

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. CAROLINA FERNANDES
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO CORÁ
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Profa. Dra. MARIA HELENA MORAES SPINELLI
Depto de Solos e Recursos Ambientais-FCA / Botucatu, SP

Jaboticabal, 12 de dezembro de 2018

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Mariele Monique Honorato Fernandes – nascida no dia 19 de janeiro de 1990 na cidade de Porto Ferreira, estado de São Paulo, cursou o ensino médio na Escola Municipal de Ensino Fundamental e Médio “Mário Borelli Thomaz, em Porto Ferreira, São Paulo no período de 2005 a 2007. Em março de 2010, ingressou no curso de Engenharia Agrônoma pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, da Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" (Unesp), e em janeiro de 2017, obteve o título de Engenheira Agrônoma. Realizou graduação pelo Programa da Capes, Brafragri (2013/2015), na École Agrocampus Ouest na cidade de Rennes, França. Em agosto de 2016 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, onde foi bolsista CAPES. No dia 12 de dezembro de 2018, submeteu-se à banca examinadora para a defesa da Dissertação para obtenção do título de Mestra em Agronomia.

*“O que vale na vida não é o ponto de partida e sim
a caminhada*

*Caminhando e semeando, no fim terás o que
colher.”*

Cora Coralina

*“Suba o primeiro degrau com fé. Não é necessário que você veja
toda a escada. Apenas dê o primeiro passo.”*

Martin Luther King

DEDICO

Aos meus pais, **Mário Fernandes** (*in memorian*) e **Fátima Aparecida Honorato Fernandes** e as minhas irmãs **Carina Kelly Honorato Fernandes** e **landra Marcela Honorato Fernandes**, por serem *meus exemplos de vida*, por todo apoio em minhas decisões, por todos os esforços dedicados para minha formação, pelo *amor, confiança e fé* transmitidos. Um dia espero retribuir o muito que fizeram por mim. A vocês todo o meu amor e mais sinceros agradecimentos.

A minha orientadora e professora **Carolina Fernandes**, pelo seu profissionalismo e exemplo de ser humano que tanto me inspira a ser uma pessoa cada dia melhor tanto profissional como pessoalmente. E por todos seus esforços durante minha caminhada profissional para que esse trabalho se concretizasse da melhor forma possível. A senhora todo meu respeito, admiração, carinho e amizade. Obrigada por tanto!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por abençoar minha caminhada, me iluminar e dar sabedoria por meio de seu divino Espírito Santo; pela saúde, alegrias, oportunidades e misericórdia transmitida por seu filho Jesus Cristo. E a Maria Santíssima, por interceder a seu filho por mim e por estar sempre a minha frente fortalecendo a minha fé.

Aos meus queridos amigos Matheus Flavio da Silva, Anderson Prates Coelho e Vinícius Augusto Filla por todo conhecimento compartilhado durante esse processo. Agradeço a mão estendida e por fazerem parte da minha caminhada pessoal e profissional.

Ao professor Antônio Sérgio Ferraudo, pelo auxílio nas análises estatísticas.

À FCAV, representada por seus servidores e professores que contribuíram para o meu crescimento pessoal e amadurecimento profissional. Em especial a Claudia, Adauto e Mauro servidores do departamento de Solos e Adubos, por toda preciosa ajuda e pela linda amizade que construímos.

A todos os meus amigos pessoais, que sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo por mim.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

E finalmente a todos que passaram e deixaram algo de bom na minha vida e contribuíram para minha formação e realização deste trabalho, minha sincera gratidão.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ii
ABSTRACT.....	iii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	12
5. CONCLUSÕES	23
6. REFERÊNCIAS	24

CONTRIBUIÇÃO DA CULTURA DE ENTRESSAFRA PARA A ESTRUTURAÇÃO DO SOLO EM ÁREA SOB SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA

RESUMO – Sistemas de cultivo conservacionista, como o sistema de semeadura direta, seguem como princípios, a ausência de preparo do solo, a formação e a manutenção de cobertura vegetal e a rotação de culturas. Contudo, quando uma das premissas não é adequadamente adotada pode haver alterações na estrutura do solo e, conseqüentemente, nas relações solo-planta. Assim, objetivou-se avaliar os atributos físicos e o carbono orgânico do solo em área com preparo do solo e pousio (vegetação espontânea) na entressafra e em áreas sem preparo do solo, com pousio (vegetação espontânea) e com cultivo na entressafra. As áreas com sistemas de cultivo distintos localizaram-se próximas às coordenadas geodésicas 21°14'05"S, 48°17'05"W e altitude média de 550 metros, com clima tipo Aw. O solo das três áreas caracterizou-se como Latossolo Vermelho de textura argilosa (539 g kg⁻¹ de argila na camada de 0,00-0,30 m). Há mais de dez anos, o milho é a principal cultura cultivada no período da safra nas três áreas: sistema de preparo convencional do solo (SPC), com pousio (vegetação espontânea) na entressafra, sistema semeadura direta (SSDE) com pousio (vegetação espontânea) na entressafra e sistema de semeadura direta (SSDM), com cultivo de milho na entressafra. Em cada área coletaram-se 20 amostras de solo em cada uma das camadas, 0,00-0,10 m, 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade, em dezembro de 2016, cerca de quinze a vinte dias após a semeadura do milho. Os atributos do solo avaliados foram: diâmetro médio ponderado dos agregados, classes de agregados, índice de estabilidade de agregados, carbono orgânico do solo, teor de argila, teor de areia, macroporosidade, microporosidade, densidade do solo e resistência do solo à penetração. Esses atributos foram submetidos à análise multivariada de fatores, onde se identificou dois processos, o primeiro interpretado como "agregação do solo" e o segundo interpretado como "porosidade do solo". As respostas dos processos em cada um dos sistemas foram testadas pela análise de variância e as interações significativas entre sistema de cultivo e camada do solo foram analisadas pelo teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. O processo denominado porosidade do solo sob os sistemas SSDE e SSDM foram semelhantes e ambos menos evidentes do que aquele sob SPC. O processo denominado agregação do solo sob SSDE foi menos evidente que aquele sob SSDM e semelhante àquele sob SPC. Portanto, o cultivo no período da entressafra foi determinante na estruturação do solo em área sob sistema de semeadura direta.

Palavras-Chave: agregação do solo, porosidade do solo, sistema de preparo convencional, vegetação espontânea

CONTRIBUTION OF OFF-SEASON CULTURE TO SOIL STRUCTURING UNDER NO-TILLAGE SYSTEM

ABSTRACT – Conservation cropping systems, such as the direct sowing system, follow as principles, the absence of soil preparation, the formation and maintenance of vegetation cover and the crop rotation. However, when one of the assumptions is not properly adopted there may be changes in soil structure and, consequently, in soil-plant relationships. Thus, the objective was to evaluate the physical attributes and soil organic carbon in an area with soil preparation and fallow in the off season and in areas with no tillage, with fallow and with cultivation in the off season. The areas with distinct cultivation systems were located close to the geodesic coordinates 21°14'05"S, 48°17'05"W average altitude of 550 meters with Aw type climate. The soil of the three areas was characterized Red Latosol of clay texture (539 g kg⁻¹ of clay in the layer of 0.00-0.30 m). For more than ten years, maize has been the main cultivated crop during the season in the three areas: conventional tillage system (CTS), fallow in the off season, direct sowing system (DSSS) with fallow (spontaneous vegetation) in the off season, and direct sowing system (DSSC) with corn crop in the off season. In each area 20 soil samples were collected in each of the layers, 0.00 - 0.10 m, 0.10 - 0.20 m and 0.20 - 0.30 m depth, in December 2016, about from fifteen to twenty days after sowing the corn. The soil attributes evaluated were: weighted average diameter of aggregates, aggregate classes, aggregate stability index, soil organic carbon, clay content, sand content, macroporosity, microporosity, soil density and soil resistance to penetration. These attributes were submitted to factor analysis, which two processes were extracted, the first one called "soil aggregation" and the second one called "soil porosity". The processes were tested by analysis of variance and the significant interactions of the cultivation system and soil layer were analyzed by the Tukey's test at the 5% probability level. The process called soil porosity under DSSS and DSSC were similar and both less evident under CTS. The process called soil aggregation under DSSS was less evident than that under DSSC and similar to that under CTS. Therefore, cultivation in the off season was determinant in soil structuring in an area under DSSC.

Keywords: soil aggregation, soil porosity, conventional tillage system, spontaneous vegetation

1. INTRODUÇÃO

Em busca de uma agricultura mais consciente em relação ao uso do solo, adequada às regiões tropicais, a utilização de sistemas conservacionistas que presam pelo não preparo ou revolvimento intensivo do solo é uma realidade inquestionável. Ainda mais quando nos referimos aos Latossolos, que constituem a classe de solo de maior utilização agrícola do Brasil (Ker, 1997), e que por esse motivo já sofreu e ainda sofre com os efeitos da erosão causada pelo intenso uso e preparo do solo.

Durante décadas, a adoção na agricultura brasileira do sistema de plantio convencional, que utiliza implementos como o arado e a grade nas operações de preparo do solo, e o aumento da mecanização e do uso do solo promoveram a degradação da sua estrutura (Assis e Lanças, 2010).

Essa degradação é resultado de alguns processos, dentre eles a compactação do solo, que compromete a infiltração da água da chuva, podendo ocasionar maior escoamento superficial e arraste de partículas do solo. Outro importante processo, decorrente do revolvimento intenso do solo, é a incorporação resíduos vegetais, aumentando seu contato com os microrganismos do solo, acelerando sua decomposição. Por esse motivo, o aporte de matéria orgânica (MO) do solo diminui afetando negativamente a agregação e, consequentemente, sua estrutura.

Sistemas agrícolas com preparo intensivo do solo, como o sistema de plantio convencional, destroem a estrutura do solo e o deixam exposto à ação de altas temperaturas e a ambiente alternadamente úmido e seco, típicos de regiões de clima tropical, contribuindo para a diminuição dos teores de MO do solo (Comin e Lovato, 2014). Portanto, é importante priorizar estratégias que permitam o acúmulo de MO estável no solo, especialmente nos trópicos, com invernos secos onde os teores de MO são baixos devido à alta decomposição dos resíduos vegetais e baixo aporte de matéria seca por plantas de cobertura (Raphael et al., 2016; Bolliger et al., 2006).

Neste contexto, as práticas conservacionistas surgem como alternativa para minimizar a degradação do solo por meio dos agentes erosivos ou qualquer outro que cause o esgotamento do solo, seja físico, químico ou biológico.

O sistema de semeadura direta (SSD) fundamenta-se em três práticas conservacionistas, ausência de revolvimento do solo, formação e manutenção de

cobertura morta e rotação de culturas (Cruz et al., 2018). Há aumento no aporte de matéria orgânica (MO) na camada superficial (0,00 – 0,05 m) do solo em função do tempo de adoção do SSD (Guareschi et al., 2012). Assim, em se tratando da manutenção da cobertura morta, o cultivo de espécies que proporcionem resíduo vegetais no solo é imprescindível, uma vez que esses resíduos acarretam melhorias das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Macedo, 2009).

No entanto, nem todos os princípios do SSD são adotados pelos agricultores. Por vezes as áreas ficam em pousio no período da entressafra, acarretando o desenvolvimento de vegetação espontânea. Essa condição descaracteriza o sistema e seu caráter conservacionista, pois não atende a uma de suas premissas, a manutenção da cobertura morta. Os resíduos da cultura plantada na safra ao ficarem expostos por longo período a altas temperaturas podem se decompor facilmente. Sendo assim, a ausência de cobertura morta no solo, acarreta baixos teores de carbono orgânico no solo.

Pittelkow et al. (2014), por meio de uma meta análise onde consultaram 610 estudos para comparar o SSD em seu conceito original de agricultura de conservação e o SPC em 48 culturas e 63 países, afirmaram que as maiores quedas de produção no SSD ocorrem quando esse sistema foi implementado sem a rotação de culturas e/ou a manutenção dos resíduos vegetais.

Por essa razão, é preciso cultivar espécies que sejam adaptadas à altas temperaturas e períodos mais secos e que permaneçam no solo proporcionando boa cobertura (Marcelo, 2007). Segundo Macedo (2009), para que o SSD seja eficiente e vantajoso, é importante se atentar as diversas condições climáticas e edáficas, pois esse sistema é altamente dependente de culturas adequadas para a produção e manutenção de palha sobre o solo.

Neste contexto, testou-se a hipótese de que o cultivo de entressafra é preponderante para a estruturação do solo em áreas sem preparo do solo. Portanto, o objetivo foi avaliar os atributos físicos e o CO do Latossolo Vermelho em área com preparo do solo e pousio (vegetação espontânea) na entressafra e em áreas sem preparo do solo, com pousio (vegetação espontânea) e com cultivo na entressafra.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Sistema de cultivo pode ser definido como o conjunto de operações agrícolas visando ao manejo físico, químico e biológico do solo, com o objetivo de otimizar as condições para a germinação das sementes, a emergência das plântulas, bem como o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas cultivadas (Varela, 1999).

Os diferentes sistemas de cultivo se diferenciam basicamente pela forma de preparo e pelo nível de cobertura do solo, antes e durante o desenvolvimento da cultura. Em relação ao preparo do solo, ele se diferencia pelo grau de movimentação e de revolvimento e pelo montante de cobertura morta deixada na superfície após a semeadura, o que decorre diretamente do tipo de operação realizada (Toresan, 1999).

Entre os diversos sistemas de cultivo, pode-se apontar o sistema de preparo convencional (SPC) e o sistema de semeadura direta (SSD), que se enquadra no perfil dos sistemas de cultivo mínimo, com visão conservacionista.

O SPC caracteriza-se por intensa mobilização do solo, com revolvimento da camada superficial e incorporação dos restos culturais (Carvalho et al., 1991; Blevins e Frye, 1993). Neste sistema, independentemente dos implementos utilizados, a camada superficial do solo fica totalmente revolvida e sem os resíduos vegetais da safra anterior (Toresan, 1999).

Em contrapartida, o SSD fundamenta-se na redução de operações mecânicas e na manutenção de boa parte do solo coberto com resíduos vegetais (Toresan, 1999). É caracterizado pela prática de rotação de culturas, com a utilização de espécies que proporcionem a cobertura constante do solo, visando a proteção contra a erosão, assim como a reciclagem de nutrientes (Lopes et al., 2004). A persistência, a quantidade e a qualidade dos resíduos produzidos pelas plantas na superfície do solo estão relacionadas à eficácia do SSD (Marcelo, 2012).

No SSD, uma característica marcante é o aumento do teor de MO na camada superficial do solo com o decorrer do tempo de implantação desse sistema (Lopes et al., 2004). Segundo os autores, isso acontece principalmente na camada superficial (0,00-0,10 m) devido à ausência de preparo do solo e a quantidade e qualidade dos resíduos das culturas, tanto aquelas de interesse econômico em rotação ou sucessão, quanto das plantas de cobertura ao longo dos anos.

As mudanças nas propriedades do solo na camada superficial (0,00-0,10 m), como densidade do solo, resistência do solo à penetração das raízes, compactação do solo e estabilidade de agregados, sugerem que o manejo do plantio direto pode induzir a estratificação nas propriedades do solo. Isso ocorre devido ao acúmulo de resíduos da cultura na superfície do solo e à redução do distúrbio do solo sob SSD (Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

Alterações nas propriedades físicas do solo afetam todos os serviços ecossistêmicos que os solos fornecem além de afetar diretamente o estabelecimento e a produção da cultura, especificamente aquelas relacionadas à compactação do solo, que afetam a emergência de plântulas, o crescimento das raízes, a porosidade e a infiltração de água (Blanco-Canqui e Ruis, 2018).

Neste sentido, a agregação e a porosidade do solo foram caracterizados, por Doran e Parkin (1994), como atributos alterados pelo manejo do solo, e foram considerados indicadores da qualidade física do solo (Stefanoski et al., 2013), pois são facilmente mensuráveis, e obtidos por medidas diretas de campo ou de laboratório.

O processo de agregação do solo foi estudado minuciosamente pelos autores Emerson (1959); Edwards e Bremner (1967), que ao desenvolverem seus modelos, auxiliaram na compreensão desse processo. Posteriormente, Tisdall e Oades (1982) descreveram o modelo teórico das interações dos agregados e da MO do solo. No conceito de hierarquia dos agregados, as partículas primárias livres do solo e agregados menores que 20 μm são unidas por agentes de ligação persistentes, como a MO humificada, complexos de cátions de metal polivalentes óxidos e aluminosilicatos altamente desordenados, formando microagregados (20-250 μm). Esses microagregados estáveis são unidos por agentes de ligação temporária, as hifas de fungos e as raízes, e por agentes transitórios, os polissacarídeos microbianos e de plantas, formando macroagregados (> 250 μm). Tisdall e Oades (1982) relataram que a estabilidade dos microagregados foi maior e menos dependente do manejo agrícola do que a estabilidade dos macroagregados, devido a ordem hierárquica dos agregados e de seus agentes ligantes.

Assim, Vezani e Mielniczuk (2009) descreveram a importância da atuação dos agentes ligantes na agregação do solo. Quando o sistema de produção agrícola

possibilita maior quantidade de compostos orgânicos por meio do cultivo de plantas, o solo tem condições de se auto-organizar em macroagregados com grande capacidade de reter a energia e a matéria adicionada na forma de carbono. Em contrapartida se o sistema de produção possibilita menor quantidade de compostos orgânicos o solo se auto-organiza em estado de ordem, porém em microagregados, estruturas menores e mais simples, pois a quantidade de energia e matéria adicionada pelo cultivo de plantas não é suficiente para conduzir o sistema a formar estruturas complexas.

Então, por fazerem parte da estrutura do solo, os agregados são essenciais na manutenção da porosidade e aeração do solo, na infiltração e retenção de água disponibilizada para as plantas, favorecendo o seu crescimento, no desenvolvimento da população microbiana e no controle dos processos erosivos (Oades, 1984; Dexter, 1988).

Em relação a porosidade do solo, para se obter a qualidade estrutural global e a medida da proporção de macroporos, mesoporos e microporos é preciso utilizar a distribuição do tamanho dos poros do solo, que é um indicador da capacidade do solo de transmitir água, ar e calor (Blanco-Canqui e Ruis, 2018). Os autores revisaram 14 estudos que avaliaram os efeitos do sistema de cultivo na distribuição do tamanho dos poros. O SSD, em comparação ao SPC, promoveu aumento na proporção de macroporos em quatro desses estudos, diminuição em seis estudos e não teve efeito em outros quatro estudos. Para os autores, o tempo de adoção do sistema de cultivo pode afetar a magnitude das mudanças no tamanho dos poros, pois estudos com mais de cinco anos de duração tendem a indicar pouco ou nenhum efeito da ausência de preparo do solo na distribuição de poros. No entanto, estudos com mais de vinte anos pareceram indicar aumento na quantidade de macroporos sugerindo que o plantio direto pode melhorar a macroporosidade a longo prazo.

Costa et al. (2003), analisando a agregação de Latossolo Bruno, constatou diminuição no diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados do solo no SPC e aumento desse atributo no SSD na camada mais superficial do solo (0,00-0,05 m). Os autores reforçaram que esse resultado foi decorrente do efeito positivo do não revolvimento do solo e do acúmulo de resíduos vegetais na superfície. Além disso, os autores observaram que a macroporosidade do solo sob SPC foi semelhante à do solo

de mata, o que pode estar relacionado com a mobilização do solo no SPC que ocorreu duas vezes ao ano.

Silva et al. (2015) estudaram o efeito do SSD e do SPC na agregação do solo em Latossolo Bruno alumínico típico em um experimento de 31 anos, e fizeram a comparação com solo de mata. Os resultados mostraram que os valores de DMG dos agregados do solo da mata não diferiram daquele sob SSD até a profundidade de 0,40 m. Os autores apontaram também, que devido aos efeitos do preparo do solo no SPC houve diminuição na estabilidade dos agregados a 0,10 m em comparação com o SSD. Segundo os autores, essa constatação se deve ao fato de não haver preparo do solo, e da manutenção de resíduos vegetais na superfície do solo, portanto, maior aporte de MO ao longo dos anos no SSD. Esses resultados mostraram que o SSD permite a recuperação da estrutura do solo a longo prazo. A macroporosidade do solo até 0,10 m foi maior no SPC, devido à mobilização do solo, em relação ao SSD. Rauber et al. (2018) concluíram em seu estudo que o preparo do solo aumentou a porosidade total e a macroporosidade, mas esse efeito diminuiu ao longo do tempo após o cultivo, devido a reconsolidação natural do solo.

Hontoria et al. (2016) avaliaram a distribuição dos agregados em Argissolo degradado submetido ao SSD e ao SPC. Os resultados mostraram que o SSD aumentou a proporção de macroagregados totais no solo em relação a proporção de microagregados na camada de 0,00-0,05 m, o que resultou em DMP 64% maior. Na camada de 0,05-0,010 m, o SSD também aumentou a proporção de macroagregados, mas não o suficiente para exceder os microagregados, embora tenha sido observado aumento nos valores de DMP de 40%. Six et al. (1999) explicam que esse aumento de macroagregados é devido a ausência de perturbação no solo no SSD, melhorando assim a formação de macroagregados estáveis em água e diminuindo seus ciclos de quebra e formação. Além disso, o SSD concentra determinados agentes de agregação na camada superficial do solo, como carbono orgânico total, carbono orgânico particulado e outros compostos orgânicos lábeis, bem como micorrizas (Beare et al., 1997) e raízes (Da Silva e Mielniczuk, 1997), que também contribuem para o aumento da formação de agregados maiores. Hontoria et al. (2016) afirmaram que o uso do SSD por seis anos, no solo estudado, foi capaz de aumentar o conteúdo de macroagregados até 40%.

A importância da adoção do SSD é observada ao longo do tempo de sua implantação, como observaram Assis e Lanças (2005). Os autores avaliaram em Nitossolo Vermelho distroférico o efeito do SPC e do SSD com um, quatro, cinco e doze anos. Os maiores valores do DMG no SSD de doze anos em relação aos outros SSD podem ser explicados pelo não revolvimento do solo, pela adição de materiais orgânicos e pelo histórico de culturas produzidas na área, que possuem influência na agregação, quando considerados longos períodos de tempo. O solo sob SSD com doze anos apresentou maior macroporosidade e menor microporosidade na camada de 0,00-0,05 em relação ao solo sob SPC.

Marcolan e Anghinoni (2006) avaliaram Argissolo Vermelho distrófico típico sob SSD com oito anos, SSD com doze anos, SSD com mobilização do solo para incorporar calcário a cada quatro anos e SPC com doze anos. Os autores observaram maior estabilidade de agregados nos três SSD na camada superficial do solo. Esse índice decresceu em profundidade no SSD com doze anos. Segundo os autores, no SSD, com mobilização para a incorporação do calcário, a estabilidade dos agregados pode ter diminuído na superfície e aumentado em profundidade, devido à incorporação de agregados estáveis que se encontravam na superfície do solo e foram incorporados com a MO. No SPC houve menor estabilidade de agregados, pois os agregados foram diminuindo de tamanho devido ao revolvimento anual do solo. A explicação para essa diminuição é que nesse sistema houve forças disruptivas da ação mecânica; além disso, o solo revolvido ficou mais exposto à desagregação por causa do impacto das gotas da chuva e ainda houve a mineralização da MO. Todos esses fatores contribuíram para a diminuição da estabilidade dos agregados do solo. Em relação à porosidade total do solo, o valor foi menor no SSD com quatro anos em relação ao SSD com oito e doze anos. Já no SPC a porosidade do solo foi maior na camada de 0,25–0,75 m, em relação ao plantio direto com quatro e oito anos.

A importância da adoção do SSD pode ser observada ao longo do tempo de implantação e, principalmente, pelo aumento do aporte de carbono orgânico na camada superficial do solo, resultado da decomposição dos resíduos vegetais de plantas cultivadas no período da safra, mas sobretudo no período de entressafra. Notadamente esse sistema contribui para a agregação do solo e a porosidade do solo com o decorrer de sua implantação e devida condução. Por esse motivo, para que

haja benefícios ao solo, é preciso seguir as três premissas preconizadas pelo sistema, ausência de revolvimento do solo, formação e manutenção de cobertura vegetal e rotação de culturas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

As áreas utilizadas para a avaliação dos atributos do solo pertencem a Fazenda de Pesquisa e Extensão da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias FCAV-UNESP, Câmpus de Jaboticabal, estado de São Paulo, próximas às coordenadas geodésicas 21°14'05"S, 48°17'05"W e altitude média de 550 metros. De acordo com a classificação de Koeppen, o clima é do tipo Aw, definido como tropical de inverno seco, com temperatura média do mês mais quente superior a 22°C e a do mês mais frio superior a 18°C. A precipitação média anual é de 1400 mm, com concentração de chuvas no período de outubro a março e relativa seca entre abril e setembro.

As três áreas utilizadas no estudo apresentaram sistemas de cultivo distintos uma das outras há mais de 10 anos e o milho é a principal cultura cultivada na safra.

A área 1 foi denominada como sistema de preparo convencional (SPC). Para o preparo do solo, foram realizadas duas arações e uma gradagem, com profundidade de trabalho de 0,20 m. No período da safra, que compreendeu os meses de outubro a março, cultivou-se o milho, e no período da entressafra, que correspondeu aos meses de abril a setembro, manteve-se em pousio com vegetação espontânea.

A área 2 foi denominada como sistema de semeadura direta-vegetação espontânea (SSDE). Nessa área não se realizou o preparo do solo e, no período da entressafra, o solo permaneceu em pousio com vegetação espontânea.

A área 3 foi denominada como sistema de semeadura direta-milho (SSDM). Nessa área, não houve o preparo do solo e, no período da entressafra, entre abril e setembro, cultivou-se milho safrinha.

Na área 1 (SPC), o preparo do solo ocorreu em outubro e a semeadura do milho ocorreu em dezembro de 2016, com a utilização de uma semeadora adubadora. Nas áreas 2 (SSDE) e 3 (SSDM), a semeadura do milho ocorreu em novembro de 2016 com a utilização de semeadora com disco de corte e haste sulcadora para deposição de adubo. Na área 3, a semeadura do milho safrinha ocorreu em março de 2017, com semeadora com disco de corte e haste sulcadora para deposição de adubo.

O solo das três áreas foi caracterizado como Latossolo Vermelho eutrófico típico, textura argilosa, A moderado, caulínico-oxídico (LVef) (Andrioli e Centurion,

1999). A composição granulométrica do solo na camada de 0,00-0,30 m foi determinada de acordo com Claessen et al. (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Teores médios de argila, areia e silte do Latossolo Vermelho sob sistema de preparo convencional (SPC), sistema de semeadura direta com pousio (vegetação espontânea) no período de entressafra (SSDE) e sistema de semeadura direta com cultivo do milho no período da entressafra (SSDM)

Camada (m)	SPC			SSDE			SSDM		
	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte	Argila	Areia	Silte
	g kg ⁻¹								
0,00 – 0,10	552	169	279	521	214	265	426	197	377
0,10 – 0,20	558	167	275	582	205	213	511	193	296
0,20 – 0,30	566	162	272	595	201	204	539	184	277

A coleta das amostras do solo, nas três áreas, ocorreu em dezembro de 2016, cerca de quinze a vinte dias após a semeadura do milho. Em cada área, foram amostrados 20 pontos em cada uma das três camadas, 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m de profundidade. As amostras deformadas foram coletadas com auxílio de enxadão e as amostras indeformadas foram coletadas em anéis volumétricos (dimensões: 5 cm de altura e 5 cm de diâmetro) com o auxílio de amostrador tipo Uhland.

No laboratório, uma parte das amostras deformadas, ainda úmida, foi passada em peneiras com abertura de malha de 6 e 4 mm. Os agregados retidos na peneira de 4 mm foram posteriormente secos ao ar e submetidos à análise do diâmetro médio ponderado dos agregados do solo (DMP) (Nimmo e Perkins, 2002) e classes de agregados. A outra parte das amostras deformadas foi seca ao ar e passada em peneiras com abertura de malha de 2 e 1 mm. Os agregados retidos na peneira de 1 mm foram submetidos à análise do índice de estabilidade de agregados do solo (IEA) (Nimmo e Perkins, 2002). Para a obtenção da terra fina seca ao ar, o solo seco ao ar foi passado em peneira com abertura de malha de 2 mm e foi submetido às análises de granulometria do solo (Claessen et al., 1997) e carbono orgânico do solo (CO) (Cambardella e Elliott, 1992).

Nas amostras indeformadas foram determinadas a microporosidade (micro), macroporosidade (macro), densidade do solo (Ds), de acordo com Claessen et al.

(1997), e a resistência do solo à penetração (RP), de acordo com Tormena et al. (1998a). Para a determinação da distribuição de poros por tamanho, foi utilizada a relação entre a tensão da água retida em tubos capilares (0, 30, 60 e 100 cm de coluna de água) e o diâmetro dos poros, por meio da seguinte equação:

$$d = \frac{0,3}{h}$$

em que: d = diâmetro dos poros, em cm, e h = altura da coluna de água, equivalente à tensão aplicada, em cm de coluna de água (Brady e Weil, 2013).

Assim, foram determinadas quatro classes de poros: macro 1 ($d \geq 0,1$ mm), macro 2 ($0,05 \leq d < 0,1$ mm), micro 1 ($0,03 \leq d < 0,05$ mm) e micro 2 ($d < 0,03$ mm).

Os valores dos atributos determinados nas três camadas de solo foram submetidos à análise estatística multivariada no software Statistica7®. A análise de fatores é uma técnica exploratória multivariada que permite que as relações entre um conjunto de variáveis sejam explicadas em termos de um número limitado de novas variáveis, sendo este último assumido como responsável pela covariação entre as variáveis observadas (Milstein et al., 2005). Por esse motivo foi realizada a análise de fatores a fim de que as variáveis fossem agrupadas quando correlacionadas entre si, ou seja, o propósito principal dessa análise foi definir a estrutura inerente entre as variáveis na análise (Hair et al., 2009).

As variáveis que fazem parte do mesmo processo podem estar positivamente ou negativamente correlacionadas. Duas variáveis podem somente ser correlacionadas se elas têm altas cargas no mesmo processo. Os processos são independentes uns dos outros, são variáveis padronizadas (distribuição normal, média = 0, variância = 1). Foram admitidas cargas com valor igual ou maior que 0,6.

Após a interpretação, os processos foram testados pelo General Linear Model (GLM) na análise de variância. As interações do sistema de cultivo adotado e a camada do solo que foram significativas em cada processo foram analisadas pelo teste de médias de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com a estatística descritiva são apresentados os valores dos atributos do solo avaliados nas camadas de 0,00-0,10 m; 0,10-0,20 m e 0,20-0,30 m nas áreas sob sistema de preparo convencional do solo (SPC – Tabela 2), sistema de semeadura direta com pousio (vegetação espontânea) na entressafra (SSDE – Tabela 3) e sistema de semeadura direta com cultivo de milho safrinha na entressafra (SSDM – Tabela 4).

Tabela 2. Média e erro padrão da média dos atributos do Latossolo Vermelho sob sistema de preparo convencional do solo (SPC)

Atributos do solo	Camadas do solo (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	2,98 ± 0,08	2,29 ± 0,07	2,02 ± 0,07
MA com diâmetro > 4mm (g g ⁻¹ solo)	0,393 ± 0,018	0,244 ± 0,014	0,192 ± 0,014
MA com diâmetro entre 4 a 2 mm (g g ⁻¹ solo)	0,160 ± 0,003	0,156 ± 0,005	0,144 ± 0,005
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,135 ± 0,006	0,179 ± 0,008	0,207 ± 0,023
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,124 ± 0,005	0,183 ± 0,006	0,212 ± 0,006
MA com diâmetro entre 0,500 a 0,250 mm (g g ⁻¹ solo)	0,097 ± 0,006	0,141 ± 0,008	0,163 ± 0,009
MA com diâmetro entre 0,250 a 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,045 ± 0,003	0,053 ± 0,003	0,061 ± 0,003
MA com diâmetro < 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,047 ± 0,004	0,045 ± 0,003	0,047 ± 0,003
Índice de estabilidade de agregados (%)	86,89 ± 0,63	84,08 ± 0,71	81,71 ± 0,96
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	12,03 ± 0,32	10,59 ± 0,36	8,68 ± 0,37
Teor de argila (g kg ⁻¹)	552 ± 6,86	558 ± 5,89	566 ± 7,72
Teor de areia (g kg ⁻¹)	172 ± 1,60	170 ± 1,33	165 ± 2,49
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,078 ± 0,009	0,053 ± 0,005	0,055 ± 0,005
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,050 ± 0,003	0,017 ± 0,001	0,012 ± 0,001
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,037 ± 0,002	0,016 ± 0,001	0,012 ± 0,001
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,375 ± 0,005	0,392 ± 0,005	0,403 ± 0,003
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,32 ± 0,02	1,46 ± 0,02	1,47 ± 0,02
Resistência à penetração (MPa)	1,62 ± 0,12	2,77 ± 0,11	2,87 ± 0,09

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

Tabela 3. Média e erro padrão da média dos atributos do Latossolo Vermelho sob sistema de semeadura direta com pousio (vegetação espontânea) no período de entressafra (SSDE)

Atributos do solo	Camadas do solo (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	2,87 ± 0,07	1,71 ± 0,04	1,55 ± 0,03
MA com diâmetro > 4mm (g g ⁻¹ solo)	0,363 ± 0,016	0,129 ± 0,008	0,108 ± 0,006
MA com diâmetro entre 4 a 2 mm (g g ⁻¹ solo)	0,178 ± 0,003	0,135 ± 0,002	0,117 ± 0,004
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,156 ± 0,005	0,198 ± 0,005	0,182 ± 0,004
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,139 ± 0,005	0,239 ± 0,004	0,250 ± 0,004
MA com diâmetro entre 0,500 a 0,250 mm (g g ⁻¹ solo)	0,096 ± 0,004	0,184 ± 0,005	0,212 ± 0,006
MA com diâmetro entre 0,250 a 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,038 ± 0,002	0,069 ± 0,003	0,075 ± 0,002
MA com diâmetro < 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,029 ± 0,002	0,047 ± 0,002	0,056 ± 0,002
Índice de estabilidade de agregados (%)	89,02 ± 0,70	76,87 ± 1,81	72,74 ± 1,56
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	18,19 ± 0,50	13,82 ± 0,29	12,95 ± 0,32
Teor de argila (g kg ⁻¹)	521 ± 3,26	582 ± 6,34	595 ± 5,95
Teor de areia (g kg ⁻¹)	214 ± 4,26	206 ± 4,95	201 ± 4,85
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,043 ± 0,008	0,044 ± 0,005	0,043 ± 0,007
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,018 ± 0,003	0,009 ± 0,001	0,008 ± 0,001
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,016 ± 0,002	0,012 ± 0,001	0,011 ± 0,001
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,396 ± 0,004	0,402 ± 0,003	0,407 ± 0,005
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,40 ± 0,02	1,48 ± 0,01	1,46 ± 0,02
Resistência à penetração (MPa)	2,45 ± 0,08	2,45 ± 0,07	2,55 ± 0,08

Tabela 4. Média e erro padrão da média dos atributos do Latossolo Vermelho sob sistema de semeadura direta com cultivo do milho no período da entressafra (SSDM)

Atributos do solo	Camadas do solo (m)		
	0,00-0,10	0,10-0,20	0,20-0,30
Diâmetro médio ponderado dos agregados (mm)	4,13 ± 0,07	3,35 ± 0,11	2,79 ± 0,12
MA com diâmetro > 4mm (g g ⁻¹ solo)	0,689 ± 0,018	0,491 ± 0,026	0,364 ± 0,028
MA com diâmetro entre 4 a 2 mm (g g ⁻¹ solo)	0,124 ± 0,005	0,151 ± 0,005	0,153 ± 0,007
MA com diâmetro entre 2 a 1 mm (g g ⁻¹ solo)	0,064 ± 0,005	0,121 ± 0,006	0,150 ± 0,007
MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm (g g ⁻¹ solo)	0,046 ± 0,004	0,105 ± 0,008	0,143 ± 0,008
MA com diâmetro entre 0,500 a 0,250 mm (g g ⁻¹ solo)	0,043 ± 0,004	0,081 ± 0,007	0,117 ± 0,009
MA com diâmetro entre 0,250 a 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,018 ± 0,002	0,033 ± 0,003	0,049 ± 0,003
MA com diâmetro < 0,125 mm (g g ⁻¹ solo)	0,016 ± 0,001	0,019 ± 0,003	0,024 ± 0,003
Índice de estabilidade de agregados (%)	92,71 ± 1,00	90,07 ± 0,97	85,49 ± 1,31
Carbono orgânico (g kg ⁻¹)	20,69 ± 0,43	14, 11 ± 0,37	12,62 ± 0,43
Teor de argila (g kg ⁻¹)	426 ± 4,77	511 ± 6,83	539 ± 16,76
Teor de areia (g kg ⁻¹)	197 ± 4,34	193 ± 3,92	184 ± 3,93
Macro com diâmetro ≥ 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,037 ± 0,004	0,031 ± 0,002	0,030 ± 0,002
Macro com diâmetro 0,05 ≤ d < 0,1 mm (m ³ m ⁻³)	0,011 ± 0,002	0,007 ± 0,001	0,008 ± 0,001
Micro com diâmetro 0,03 ≤ d < 0,05 mm (m ³ m ⁻³)	0,013 ± 0,001	0,009 ± 0,001	0,011 ± 0,001
Micro com diâmetro < 0,03 mm (m ³ m ⁻³)	0,413 ± 0,003	0,422 ± 0,001	0,428 ± 0,001
Densidade do solo (g cm ⁻³)	1,43 ± 0,009	1,50 ± 0,005	1,47 ± 0,006
Resistência à penetração (MPa)	2,58 ± 0,053	2,55 ± 0,063	2,47 ± 0,081

MA: massa de agregados; Macro: macroporosidade; Micro: microporosidade.

Para a análise estatística multivariada foram utilizados os valores dos atributos do solo coletados nas três camadas das três áreas (Tabela 5). O primeiro processo (P1) explicou 42% da variância do conjunto original dos dados e o segundo processo (P2) explicou 25%, possibilitando reter 67% da variabilidade geral desses dados.

Tabela 5. Coeficiente de correlação da análise de fatores dos atributos do Latossolo Vermelho, com dois processos (P1 e P2), em sistema de preparo convencional, sistema de semeadura direta com pousio (vegetação espontânea) no período de entressafra e sistema de semeadura direta com cultivo do milho no período da entressafra

Atributos do solo	P1	P2
Diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP)	0,9841	-0,0738
Massa agregados (MA) com diâmetro > 4 mm	0,9775	-0,0301
MA com diâmetro entre 2 e 1 mm	-0,8049	0,0141
MA com diâmetro entre 1 e 0,500 mm	-0,9581	0,1367
MA com diâmetro entre 0,500 e 0,250 mm	-0,9407	0,1464
MA com diâmetro entre 0,250 e 0,125 mm	-0,9238	0,0452
MA com diâmetro < 0,125 mm	-0,7848	-0,2719
Índice de estabilidade de agregados (IEA)	0,7328	-0,1411
Carbono orgânico (CO)	0,6867	0,1561
Teor de argila	-0,7906	-0,1329
Macroporosidade com diâmetro $\geq 0,1$ mm	-0,1859	-0,7854
Macroporosidade com diâmetro $0,05 \leq d < 0,1$ mm	0,0465	-0,9165
Microporosidade com diâmetro $0,03 \leq d < 0,05$ mm	0,0631	-0,8493
Microporosidade com diâmetro < 0,03 mm	0,2250	0,7727
Densidade do solo (Ds)	-0,0963	0,8875
Resistência a penetração (RP)	-0,0486	0,6902
MA com diâmetro entre 4 e 2 mm	0,1167	-0,3300
Teor de areia	0,1029	0,3470
Variância relativa*	42%	25%

*Variância relativa refere-se à porcentagem da variação do conjunto original dos dados retidos pelo processo.

Dentro de cada processo, valores com mesmo sinal indicam que os atributos do solo correlacionam-se diretamente e valores com sinais distintos, indiretamente entre si.

No primeiro processo (P1) interpretado como “agregação do solo”, os atributos com coeficientes positivos se correlacionaram indiretamente com os atributos com coeficientes negativos (Tabela 5). Os atributos do solo com coeficientes de correlação positivos, diâmetro médio ponderado dos agregados (DMP); massa de agregados (MA) com diâmetro > 4 mm; índice de estabilidade de agregados (IEA) e carbono orgânico do solo (CO), atuaram de forma direta entre si. Os atributos do solo com coeficientes de correlação negativos, MA com diâmetro entre 2 e 1 mm; MA com diâmetro entre 1 a 0,500 mm; MA com diâmetro entre 0,500 a 0,250 mm; MA com

diâmetro entre 0,250 a 0,125 mm; MA com diâmetro < 0,125 mm e teor de argila, também atuaram de forma direta entre si, porém, de forma indireta com os atributos do solo com coeficientes de correlação positivos citados anteriormente.

Nesse processo, observou-se que a fração argila contribuiu com a formação de agregados até o diâmetro de 2 mm, visto que no início do processo de agregação, a interação das partículas minerais da fração argila é fator determinante para a formação dos agregados do solo. A argila contribui na formação de microagregados, uma vez que essa formação acontece devido à interação de partículas minerais da fração argila, sobretudo caulinita e óxidos de ferro, e de moléculas orgânicas, como a matéria orgânica humificada e cátions polivalentes (Tisdall e Oades, 1982; Vezzani e Mielniczuk, 2011). Uma vez formados, os microagregados são unidos por hifas de fungos, raízes, polissacarídeos microbianos e de plantas, formando macroagregados (Tisdall e Oades, 1982).

Para a formação de agregados maiores que 4 mm, observou-se que o CO do solo foi o responsável pela união dos agregados menores que 2 mm, o que proporcionou aumento nos valores de DMP e IEA do solo. Estudos mostraram que o CO do solo foi determinante na formação e estabilização dos macroagregados, pois sua disponibilidade aumentou a atividade microbiana, que uniu fragmentos de plantas em decomposição e colônias de bactérias, por meio da interação dos polissacarídeos extracelulares, com microagregados e partículas simples (Golchin et al., 1998; Vezzani e Mielniczuk, 2011).

De acordo com a análise de variância, observou-se que, para o processo “agregação do solo”, a interação sistema de cultivo (SC) e camada do solo (C) foi significativa (Tabela 6).

Tabela 6. Análise de variância (ANOVA) para o processo “agregação do solo” (P1)

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Sistema de cultivo (SC)	2	83,0372	41,5186	307,2785	< 0,01*
Camada do solo (C)	2	67,6911	33,8455	250,4904	< 0,01*
SC x C	4	5,1668	1,2917	9,5598	< 0,01*
Resíduo	171	23,105	0,1351		
Total	179	179			

*: significativo ($p < 0,01$).

O mais evidente processo de agregação ocorreu na camada 0,00-0,10 m (C1) do solo sob SSDM (Tabela 7). Na C1 houve maior teor de CO, IEA, massa de agregados com diâmetro > 4 mm e DMP. O SSD tem como característica o aumento do teor de matéria orgânica na camada superficial do solo com o decorrer do tempo de implantação (Lopes et al., 2004). Segundo os autores, isso acontece principalmente na camada superficial (0,00 – 0,10 m) devido à ausência de preparo do solo e a quantidade e qualidade, tanto dos resíduos das culturas de interesse econômico em rotação ou sucessão, como das plantas de cobertura ao longo dos anos. Os resíduos vegetais quando não incorporados ao solo se decompõem mais lentamente, pois dificulta a ação microbiana em virtude do menor contato com o solo (Pavinato e Rosolem, 2008). Zhang et al. (2018), ao avaliarem diferentes sistemas de cultivo, constataram que a presença de resíduos vegetais na superfície do solo no SSD, com cultivo contínuo de milho, proporcionou maior armazenamento de CO no solo em relação aos outros sistemas, entre eles SSD com rotação de milho e soja e SPC com cultivo contínuo de milho, sendo que neste sistema os resíduos derivados da colheita foram removidos da área.

Tabela 7. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a interação entre sistema de cultivo e camada do solo do processo “agregação do solo”

Sistema de cultivo	Camada (m)	“Scores”	
Sistema de semeadura direta - milho (SSDM)	0,00 – 0,10 (C1)	1,8267	a
Sistema de semeadura direta - milho (SSDM)	0,10 – 0,20 (C2)	0,8298	b
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,00 – 0,10 (C1)	0,4862	bc
Sistema de semeadura direta – milho (SSDM)	0,20 – 0,30 (C3)	0,1952	c
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,00 – 0,10 (C1)	0,1876	c
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,10 – 0,20 (C2)	-0,4579	d
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,20 – 0,30 (C3)	-0,7966	de
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,10 – 0,20 (C2)	-0,9995	ef
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,20 – 0,30 (C3)	-1,2714	f

As interações de sistema de cultivo e camada do solo com “scores” negativos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 5 de cargas negativas e as interações com “scores” positivos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 5 de cargas positivas. Sistemas de cultivo em suas respectivas camadas seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

No presente estudo, no SSDM houve o cultivo de milho safrinha no período da entressafra, o que proporcionou aporte de resíduos vegetais após a colheita e contribuição do sistema radicular durante todo o ano agrícola (safra e entressafra). As

raízes das plantas podem atuar como agentes de ligação temporários que unem os microagregados do solo em macroagregados (Tisdall e Oades, 1982). Macroagregados formados por processos físicos, por meio de operações mecânicas de máquinas e implementos, podem não ser estáveis; o que confere estabilidade aos agregados são agentes cimentantes de aspecto biológico, como a atividade microbiana, liberação de exsudatos por raízes, crescimento e funcionamento das raízes, crescimento e morte dos tecidos (Salton et al., 2008).

De acordo com Six et al. (2002), as raízes têm função importante no aumento da agregação do solo e no sequestro de carbono no solo a longo prazo, pois a agregação é um processo dinâmico que responde à ação das plantas e às formas de manejo a que o solo é submetido (Golchin et al., 1998). Costa Junior et al. (2012) avaliaram a influência de usos do solo e dois manejos agrícolas na agregação e nos teores de C de um Latossolo Vermelho distrófico caulinitico (SPC = 614 g kg⁻¹ de argila e SSD = 638 g kg⁻¹ de argila na camada de 0,00-0,20 m). Os autores observaram que o estado de maior agregação do solo no SSD em comparação com o SPC ocorreu devido ao não revolvimento do solo, mas sobretudo devido à manutenção dos resíduos vegetais na superfície, principalmente na camada de 0,00-0,05 m.

Os resultados do presente estudo corroboram os autores anteriores, visto que, na área sob SSDM o processo de agregação foi decrescente em profundidade, ou seja, foi mais evidente na C1 em comparação à C2, e esta em comparação à C3.

Na área sob SSDE, o processo de agregação da C1 apresentou-se inferior, quando comparado à C1 da área sob SSDM, e intermediário quando comparado aquele das camadas C2 e C3 da área sob SSDM, o que mais uma vez demonstra a importância do cultivo de entressafra na agregação do solo.

Segundo Conceição et al. (2013), o estabelecimento de sistemas diversificados com alto aporte de resíduos, derivados de plantas de cobertura, pode ser uma estratégia importante para o acúmulo de carbono no solo. Sabe-se que a alta densidade de raízes adiciona carbono ao solo e atua fisicamente na formação e estabilização de macroagregados (Vezzani e Mielniczuk, 2011). Contudo, na área sob SSDE não se cultivou no período da entressafra e a vegetação espontânea não ocorreu de maneira uniforme na área. Por esses motivos pode não ter ocorrido a

contribuição do sistema radicular da vegetação espontânea para a formação de macroagregados no SSDE.

Observou-se que o processo de agregação na C1 das áreas com vegetação espontânea na entressafra (SSDE e SPC) foram semelhantes (Tabela 7), ou seja, somente a ausência de preparo do solo não foi suficiente para incrementar a agregação do solo.

Constatou-se predomínio de agregados de diâmetro menor que 2 mm e menor teor de CO, IEA, massa de agregados maior que 4 mm e DMP na C2 e C3 do solo sob SPC, em relação a C1 do mesmo sistema (Tabela 7). O intenso revolvimento do solo pode ocasionar a quebra dos agregados deixando o carbono mais exposto a mineralização pelos microrganismos causando redução do CO do solo (Feller et al., 1996), que pode ser dissipado para a atmosfera. Por outro lado, com o revolvimento do solo, os resíduos vegetais que ficam sob a superfície do solo são incorporados em profundidade e podem ser fonte de CO no solo. Contudo, a quantidade desses resíduos provavelmente não foi apropriada para contribuir na formação e estabilização dos agregados. Neste sistema (SPC), o período de pousio com a presença de vegetação espontânea na entressafra não contribuiu para a quantidade de resíduos deixados na superfície do solo, tão pouco para a presença de raízes em maior profundidade no perfil do solo.

Na C2 e C3 do solo sob SSDE (Tabela 7) observou-se maior quantidade de agregados com diâmetro menor que 2 mm e menor teor de CO, IEA, massa de agregados maior que 4 mm e DMP; portanto processo de agregação menos evidente, quando comparado às respectivas camadas do SPC. Provavelmente, o não preparo do solo como prática isolada não conferiu a formação de agregados de maior diâmetro e mais estáveis na profundidade 0,10 – 0,30 m do solo. Os resíduos vegetais provenientes da colheita do milho cultivado na safra e a vegetação espontânea presente no período da entressafra no SSDE possivelmente não foram fonte de CO em camadas mais profundas do solo, pois não houve incorporação desses resíduos, como ocorreu no SPC.

De modo geral, observou-se que o processo “agregação do solo” foi mais evidente na área sob SSDM e semelhante nas áreas sob SSDE e SPC. Assim, constatou-se que somente o não preparo do solo não garantiu a agregação do solo.

Neste sentido, o cultivo no período da entressafra no SSD mostrou-se necessário, principalmente devido ao clima tropical da região que favoreceu a rápida degradação dos resíduos vegetais das culturas. O resíduo vegetal, deixado pelas culturas de entressafra, na superfície do solo, possibilita maior aporte de CO no solo, e o sistema radicular contribui para a formação e estabilização dos agregados do solo.

Segundo a estatística multivariada, os processos interpretados como “agregação do solo” e “porosidade do solo” foram independentes. Dentro de cada processo estão contidos os atributos mais relevantes, ou seja, os efeitos dos sistemas de cultivo avaliados no processo “porosidade do solo” não foram decorrentes do processo “agregação do solo”.

No segundo processo (P2) interpretado como “porosidade do solo”, houve correlação direta entre os atributos do solo com cargas negativas, macroporosidade com diâmetro $\geq 0,1$ mm; macroporosidade com diâmetro $0,05 \leq d < 0,1$ mm e microporosidade com diâmetro $0,03 \leq d < 0,05$ mm (Tabela 5). Esses atributos se correlacionaram indiretamente com os atributos de carga positivas, microporosidade com diâmetro $< 0,03$ mm, densidade do solo (Ds) e resistência do solo à penetração (RP), que por sua vez correlacionaram-se diretamente entre si (Tabela 5). Assim, quanto maior o volume de poros com diâmetro maior que 0,03 mm, menor os valores de Ds e RP.

Os atributos físicos do solo são interdependentes e, consequentemente, a modificação de um normalmente leva à modificação dos demais (Stefanoski et al., 2013). Neste contexto, Lima et al. (2007) observaram que a densidade do solo possui estreita relação com outros atributos, sendo que a maioria das pesquisas converge para o fato de que, com o aumento da Ds, ocorre diminuição da macroporosidade, assim como o consequente aumento da microporosidade e da resistência do solo à penetração, fatos esses também observados no presente estudo.

Observou-se que, para o processo “porosidade do solo”, a interação sistema de cultivo (SC) e camada do solo (C) foi significativa (Tabela 8).

Tabela 8. Análise de variância (ANOVA) para o processo “porosidade do solo” (P2)

Causa de Variação	GL	SQ	QM	F	P
Sistema de cultivo (SC)	2	48,9789	24,4895	65,2922	< 0,01*
Camada (C)	2	40,5881	20,2941	54,1067	< 0,01*
SC*C	4	25,2952	6,3238	16,8601	< 0,01*
Resíduo	171	64,1378	0,3751		
Total	179	179			

*: significativo ($p < 0,01$).

O solo na C1 da área sob SPC apresentou maiores valores de porosidade com predominância de poros $> 0,03$ mm e menores valores de Ds e RP (Tabela 9). Essa condição ocorreu devido ao preparo do solo, onde a estrutura estava mais solta, proporcionando maior porosidade. Confirmando a independência dos processos, observou-se que essa camada não foi aquela que apresentou processo de agregação mais evidente (Tabela 7). Portanto, pode-se assegurar que os efeitos dos sistemas de cultivo avaliados forma decorrentes da presença ou ausência de preparo do solo.

Tormena et al. (2002) observaram, em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média, que o SPC promoveu aumento da porosidade do solo na camada superficial, quando comparado ao SSD. Os autores atribuíram os maiores valores de macroporosidade no sistema com revolvimento (SPC) à persistência dos efeitos da mobilização do solo, que resultaram no desenvolvimento de poros, principalmente macroporos. Os autores apontaram que os efeitos do revolvimento do solo foram mais importantes na superfície do solo, pois no SPC houve decréscimo no volume de macroporos em profundidade, aproximando dos valores determinado na área sob SSD.

O processo “porosidade do solo” foi semelhante nas camadas C1 do SSDE, C2 e C3 do SPC e C1 do SSDM (Tabela 9). A maior presença de microporos e maior Ds e RP nas camadas C2 e C3 do SPC em relação à C1 do solo sob SPC pode ter sido ocasionada pela presença da camada compactada, comumente conhecida como do pé-de-arado, devido ao preparo contínuo do solo e à pressão do arado, como também da grade, sobre o solo em uma mesma profundidade (Pedroso e Corsini, 1983). Na C1 dos solos sob sistema de semeadura direta (SSDE e SSDM) também houve maior presença de microporos e maior Ds e RP quando comparados com a C1 do solo sob SPC. Tormena et al. (1998b) afirmaram que em sistemas de cultivo onde a

movimentação do solo é restrita à linha de semeadura, ocorre a compactação na superfície do solo em decorrência do tráfego sistemático de máquinas. Em SSD, geralmente, os solos apresentam na camada superficial, maiores valores de Ds e microporosidade e menores valores de macroporos (Vieira e Muzilli, 1984; Stone e Silveira, 2001). Isto decorre, principalmente, devido ao arranjo natural do solo quando não há mobilização e da pressão provocada por máquinas e implementos agrícolas (Vieira, 1981; Corrêa, 1985).

Tabela 9. Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade para a interação entre sistema de cultivo e camada do solo do processo “porosidade do solo”

Sistema de cultivo	Camada (m)	“Scores”	
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,00 – 0,10 (C1)	-2,1135	a
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,00 – 0,10 (C1)	-0,2143	b
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,10 – 0,20 (C2)	-0,1725	b
Sistema de preparo convencional (SPC)	0,20 – 0,30 (C3)	0,1107	bc
Sistema de semeadura direta - milho (SSDM)	0,00 – 0,10 (C1)	0,3170	bc
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,10 – 0,20 (C2)	0,4565	c
Sistema de semeadura direta - vegetação espontânea (SSDE)	0,20 – 0,30 (C3)	0,4930	c
Sistema de semeadura direta - milho (SSDM)	0,20 – 0,30 (C3)	0,5092	c
Sistema de semeadura direta - milho (SSDM)	0,10 – 0,20 (C2)	0,6140	c

As interações de sistema de cultivo e camada do solo com “scores” negativos se correlacionam com os atributos do solo da tabela 5 de cargas negativas e as interações com “scores” positivos se correlacionam com os atributos do solo de cargas positivas. Sistemas de cultivo em suas respectivas camadas seguidos das mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

O solo da área sob SSDE e sob SSDM apresentou o processo “porosidade do solo” menos evidente, com maior microporosidade, maior Ds e RP na C2 e C3 avaliadas (Tabela 9). Stone e Silveira (2001) avaliaram os efeitos de sistemas de preparo do solo e rotações de culturas sobre a densidade e porosidade de um Latossolo Vermelho de textura argilosa. Os autores observaram que na camada de 0,10 – 0,20 m houve diminuição da macroporosidade, sinalizando processo de compactação. Contudo, eles apontaram que a redução da macroporosidade e o aumento da microporosidade do solo sob SSD podem não necessariamente afetar o desenvolvimento e a distribuição do sistema radicular.

De acordo com esses resultados, observou-se a importância do cultivo no período da entressafra em áreas onde não ocorreu o preparo do solo. As plantas cultivadas na entressafra possuem sistemas radiculares diferentes em relação ao

volume que ocupam e a profundidade com que exploram o perfil do solo. As raízes aumentam os bioporos em camadas compactadas por causa da profundidade que exploram o solo (Williams e Weil, 2004) e reduzem a Ds sob SSD (Seben Junior et al., 2014).

No presente estudo, a hipótese de que o cultivo de entressafra é preponderante para a estruturação do solo em áreas sem preparo do solo foi confirmada principalmente pelo processo de “agregação do solo”. Os valores do teor de CO, do IEA, da massa de agregados com diâmetro > 4 mm e do DMP no solo sob SSDE foram inferiores aos respectivos valores observados na área sob SSDM e próximos aos valores na área sob SPC. Neste contexto, tornam-se importante estudos sobre culturas com alta densidade de raízes e com baixa taxa de decomposição, para que a liberação do CO do solo ocorra mais lentamente, favorecendo a agregação do solo e promovendo a adequada cobertura do solo, especialmente em regiões de clima tropical, com período seco e quente na entressafra.

5. CONCLUSÕES

O processo denominado porosidade do solo sob os sistemas semeadura direta, com cultivo de milho ou vegetação espontânea na entressafra, foram semelhantes e ambos menos evidentes que aquele sob sistema de preparo convencional.

O processo denominado agregação do solo sob sistema de semeadura direta com cultivo de milho na entressafra foi mais evidente que aqueles sob sistema de semeadura direta com vegetação espontânea na entressafra e sistema de preparo convencional.

O cultivo no período da entressafra foi determinante na estruturação do solo em área sob sistema de semeadura direta.

6. REFERÊNCIAS

Andrioli I, Centurion JF (1999) Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Brasília: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.1-4.

Assis RL, Lanças KP (2005) Avaliação dos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 29:515-522.

Assis RL, Lanças KP (2010) Agregação de um Nitossolo Vermelho distroférico sob sistemas de plantio direto, preparo convencional e mata nativa. **Engenharia Agrícola** 30:58-66.

Beare MH, Hu S, Coleman DC, Hendrix PF (1997) Influences of mycelial fungi on soil aggregation and organic matter storage in conventional and no-tillage soils. **Applied Soil Ecology** 5:211-219.

Blanco-Caqui H, Ruis SJ (2018) No-tillage and soil physical environment. **Geoderma** 326:164-200. doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.03.011

Blevins RL, Frye WW (1993) Conservation Tillage: An Ecological Approach to Soil Management. **Advances in Agronomy** 5:33-78.

Bolliger A, Magid J, Amado TJC, Skóra F, Ribeiro MFS, Calegari A, Ralisch R, Neergaard A (2006) Taking stock of the brazilian “zero-till revolution”. *Advances in Agronomy* 91:47-110. [doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)91002-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)91002-5)

Brady, NC, Weil RR (2013) Elementos da natureza e propriedades dos solos. Porto Alegre: Bookman, 716p.

Carvalho MJ, Azevedo AL, Albuquerque JC (1991) Notas sobre a Terminologia a Usar em Sistemas de Mobilização do Solo. **Revista de Ciências Agrárias** 24:5-8.

Cambardella CA, Elliott ET (1992) Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal** 56:777-783.

Claessen MEC, Barreto WO, Paula JL, Duarte MN (1997) **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: Embrapa-Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 212 p.

Corrêa JC (1985) Efeito de métodos de cultivo em algumas propriedades físicas de um Latossolo Amarelo muito argiloso do estado do Amazonas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 20:1317-1322

Costa FS, Albuquerque JA, Bayer C, Fontoura SMV, Wobeto C (2003) Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:527-535.

Costa Junior C, Píccolo MC, Siqueira Neto M, Camargo PB, Cerri CC, Bernoux M (2012) Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1311-1321.

Comin JJ, Lovato PE (2014) **Manejo para qualidade do solo – Projeto tecnologias sociais para a gestão da água**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Conceição PC, Dieckow J, Bayer C (2013) Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. **Soil & Tillage Research** 129:40-47. doi.org/10.1016/j.still.2013.01.006

Cruz JC, Alvarenga RC, Viana, JHM, Pereira Filho IA, Albuquerque Filho MR, Santana, DP (2018) **Sistema de Plantio Direto de milho**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em: 13 jul. 2018

Da Silva I, Mielniczuk J (1997) Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 21: 113-117.

Dexter AR (1988) Advances in characterization of soil structure. **Soil & Tillage Research** 11:199-238.

Doran JW, Parkin TB (1994) Defining and assessing soil quality. In: Doran JW, Coeman DC, Bezdicsek DF, Stewart BA (Eds.). **Defining soil quality for sustainable environment. Madison**. Soil Science Society of America, p.3-21.

Edwards AP, Bremner JM. (1967) Microaggregates in soils. **Journal of Soil Science** 18:64-73.

Emerson WW (1959) Stability of soil crumbs. **Nature** 183:538.

Feller C, Albrecht A, Tessier D (1996) Aggregation and organic matter storage in kaolinitic and smectitic tropical soils. In : Carter MR, Stewart BA (Eds.) **Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils**. Boca Raton : CRC Press, p.309-359.

Golchin A, Baldock JA, Oades JM (1998) A model linking organic matter decomposition, chemistry and aggregate dynamics. In: Lal R, Kimble J, Follett RF, Stewart BA (Eds.) **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, p. 245-266.

Guareschi RF, Pereira MG, Perin A (2012) Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no Cerrado goiano. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:909-920.

Hair JF, Black WC, Babin BJ, Anderson RE, Tatham RL (2009) Análise multivariada de dados. Porto Alegre: Bookman, 688p.

Hontoria C, Paccard CG, Sancho IM, Benito M, Perez J, Espejo R (2016) Aggregate size distribution and associated organic C and N under different tillage systems and Ca-amendment in a degraded Ultisol. **Soil & Tillage Research** 160 :42–52.

Ker JC (1997) Latossolos do Brasil: uma revisão. **Geonomos** 5:17-40.

Lima CGR, Carvalho MP, Mello LMM, Lima RC (2007) Correlação linear e espacial entre a produtividade de forragem, a porosidade total e a densidade do solo de Pereira Barreto (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 31:1233-1244.

Lopes AS, Wiethölter S, Guilherme LRG, Silva CA (2004) **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo, 115 p.

Macedo MCM (2009) Integração lavoura e pecuária: o estado da arte e inovações tecnológicas. **Revista Brasileira de Zootecnia** 38:133-146.

Marcelo AV (2007) **Atributos químicos do solo, estado nutricional e produtividade de soja, milho e arroz após culturas de inverno em semeadura direta**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo)) – Unesp, Jaboticabal.

Marcelo AV, Corá JE, Fernandes C (2012) Sequências de culturas em sistema de semeadura direta. II - decomposição e liberação de nutrientes na entressafra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 36:1568-1582.

Marcolan AL, Anghinoni I (2006) 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** 30:163-170.

Milstein A, Islam MS, Wahab MA, Kamal AHM, Dewan S (2005) Characterization of water quality in shrimp ponds of different sizes and with different management regimes using multivariate statistical analysis. **Aquaculture International** 13:501-518. doi 10.1007/s10499-005-9001-6

Nimmo JR, Perkins KS (2002) Aggregate stability and size distribution. **Soil Science Society of America Journal** 5:317-328.

Oades JM (1984) Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant Soil** 76:319-337.

Pavinato PS, Rosolem CA (2008) Disponibilidade de nutrientes no solo - decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:911-920.

Pedroso PAC, Corsini PC (1983) Manejo físico do solo. In: Ferreira ME, Yamada T, Malavolta E (Eds.) **Cultura do arroz de sequeiro: fatores afetando a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e do Fosfato, p. 225-238.

Pittelkow CM, Liang X, Linquist BA, Groenigen KJ, Lee J, Lundy ME, Gestel N, Six J, Venterea RT, Kessel C (2014) Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture. **Nature** 517:365-368. doi:10.1038 / nature13809

Raphael JPA, Calonego JC, Milori DMBP, Rosolem CA (2016) Soil organic matter in crop rotation under no-till. **Soil & Tillage Research** 155:45-53. doi.org/10.1016/j.still.2015.07.020

Rauber LP, Andrade AP, Friederichs A, Mafra AL, Baretta D, Rosa MG, Mafra MSH, Correa JC (2018) Soil physical indicators of management systems in traditional agricultural areas under manure application. **Scientia Agricola** 75:354-359. doi: http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0453

Salton JC, Mielniczuk J, Bayer C, Boeni M, Conceição PC, Fabrício AC, Macedo MCM, Broch DL (2008) Agregação e estabilidade de agregados do solo em sistemas agropecuários em Mato Grosso do Sul. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 32:11-21. doi.org/10.1590/S0100-06832008000100002

Seben Junior GF, Corá JE, Lal R (2014) The effects of land use and soil management on the physical properties of an Oxisol in southeast Brazil. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 38:1245-1255.

Silva FR, Albuquerque JA, Costa A, Fontoura SMV, Bayer C, Warmling MI (2015) Physical Properties of a Hapludox after Three Decades under Different Soil Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 40:1-14.

Six J, Elliott ET, Paustian K (1999) Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal** 63 :1350-1358.

Six J, Feller C, Denef K, Ogle SM, Sa JCM, Albrecht A (2002) Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils: effects of no-tillage. **Agronomie** 22:755-75. https://doi.org/10.1051/agro:2002043

Stefanoski DC, Santos GG, Marchão RL, Petter FA, Pacheco LP (2013) Uso e manejo do solo e seus impactos sobre a qualidade física. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 17:1301-1309.

Stone LF, Silveira PM (2001) Efeitos do sistema de preparo e da rotação de culturas na porosidade e densidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência Solo** 25:395-401.

Tisdall JM, Oades JM (1982) Organic matter and waterstable aggregates in soils. **Journal of Soil Science** 33:141-163.

Toresan, L (1999) **Análise comparativa do plantio direto frente ao sistema convencional de manejo do solo em sistemas de produção de lavouras em Santa Catarina**: Relatório de avaliação final. Santa Catarina.

Tormena CA, Silva AP, Libardi PL (1998a) Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:573-581.

Tormena CA, Roloff G, Sá JCM (1998b) Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 22:301-309.

Tormena CA, Barbosa MC, Costa ACS, Gonçalves ACA (2002) Densidade, porosidade e resistência à penetração em Latossolo cultivado sob diferentes sistemas de preparo do solo. **Scientia Agricola** 59:795-801.

Varella, CAA (1999) **Efeitos dos sistemas de cultivo convencional, mínimo e direto no escoamento superficial e nas perdas de solo**. 47 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro Instituto de Agronomia, Seropédica.

Vezzani FM, Mielniczuk J (2009) Uma visão sobre qualidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33:743-755.

Vezzani FM, Mielniczuk J (2011) Agregação e estoque de carbono em Argissolo submetido a diferentes práticas de manejo agrícola. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 35:213-223. doi.org/10.1590/S0100-06832011000100020

Vieira MJ (1981) Propriedades físicas do solo. In: instituto agrônômico do Paraná. **Plantio direto no Estado do Paraná**. Londrina, p.19-32. (IAPAR. Circular, 23).

Vieira MJ, Muzilli O (1984) Características físicas de um Latossolo Vermelho-Escuro sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 19:873-882.

Zhang Y, Li X, Gregorich EG, McLaughlin NB, Zhang X, Guo Y, Liang A, Fan R, Sun B (2018) No-tillage with continuous maize cropping enhances soil aggregation and organic carbon storage in Northeast China. **Geoderma** 330:204-211. doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.05.037

Williams SM, Weil RR (2004) Crop cover root channels may alleviate soil compaction effects on soybean crop. **Soil Science Society of America Journal** 68:1403-1409. doi:10.2136/sssaj2004.1403