



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

ALEX FIGUEIREDO

**DINÂMICA ESTRUTURAL E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE
UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE CULTURAS E MANEJOS DE SOLO**

Londrina
2020

ALEX FIGUEIREDO

**DINÂMICA ESTRUTURAL E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE
UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES
SISTEMAS DE CULTURAS E MANEJOS DE SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Maria de Fátima Guimarães.

Co-Orientador: Dr. Henrique Debiasi.

Londrina
2020

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

FIGUEIREDO, ALEX.

DINÂMICA ESTRUTURAL E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE CULTURAS E MANEJOS DE SOLO / ALEX FIGUEIREDO. - Londrina, 2020.
82 f. : il.

Orientador: Maria de Fátima Guimarães.

Coorientador: Henrique Debiasi.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2020.

Inclui bibliografia.

1. Plantio Direto - Tese. 2. Escarificação - Tese. 3. Agregação do Solo - Tese. 4. Qualidade do Solo - Tese. I. Guimarães, Maria de Fátima . II. Debiasi, Henrique. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

ALEX FIGUEIREDO

**DINÂMICA ESTRUTURAL E DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM
LATOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
CULTURAS E MANEJOS DE SOLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito à obtenção do título de Doutor em Agronomia.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria de Fátima
Guimarães
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Gustavo Adolfo de Freitas Fregonezi
Centro Universitário Filadélfia – UniFil

Prof. Dr. Wesley Machado
Universidade Norte do Paraná - UNOPAR

Dr. José Francirlei de Oliveira
Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR

Prof. Dr. Thadeu Rodrigues de Melo
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 19 de março de 2020.

Dedico este trabalho aos meus pais Nezildo (*in memoriam*) e Maria Aparecida, aos meus irmãos Marcio e Welton e à minha noiva Amanda.

AGRADECIMENTO (S)

A Deus por ter me dado saúde e forças para superar as dificuldades.

Aos meus pais Nezildo Vieira de Figueiredo (*in memorian*) e Maria Aparecida Hermenegildo Figueiredo e aos meus irmãos Marcio Rogerio Figueiredo e Welton Figueiredo, pelo amor, incentivo e apoio incondicional, sem o qual não teria forças para percorrer esse caminho.

A minha noiva Amanda Rafaela Luciano Breganó que nos momentos, de minha ausência, dedicados a este trabalho, sempre me compreendeu e apoiou e por me ajudar a ser uma pessoa melhor.

A minha orientadora, professora Dr^a. Maria de Fátima Guimarães, pela confiança durante todos os anos em que trabalhamos juntos. Pela amizade, paciência, ensinamentos repassados. Sempre dividindo seus conhecimentos, com histórias maravilhosas, me ajudando a crescer como profissional e como cidadão.

Ao meu co-orientador, Dr. Henrique Debiasi, pela amizade, paciência e ensinamentos repassados durante o trabalho. Sempre dividindo seus conhecimentos e me ajudando a crescer como profissional e como cidadão.

Aos membros da Banca Examinadora, por aceitarem participar e contribuir com o desenvolvimento deste trabalho.

Aos técnicos do laboratório de Solos, João Machado dos Santos e Marcio Alves de Lima, pela amizade, paciência, ajuda e conhecimentos divididos em todos esses anos de laboratório.

Aos alunos da Graduação e Pós-Graduação que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos amigos do laboratório de solos por todos esses anos de amizade. Em especial a galera do terceiro turno Jean Carlo Santos de Oliveira, Lucas de Augusto de Assis Moraes e Thadeu Rodrigues de Melo por todo o conhecimento compartilhado e pela amizade que levarei para a vida toda.

Aos amigos de longa data Marcos Paulo Chicotti, José Agnaldo dos Santos e Alessandro Panham Sabaini por fazerem parte da formação do meu caráter.

Aos professores que, de maneira direta ou indireta, colaboraram para a minha formação. Em especial os professores João Tavares Filho, Thiago Ometto Zorzenoni, Ricardo Ralisch e Adriana Prereira Silva, pela amizade e conhecimentos divididos.

A EMBRAPA - SOJA, nas pessoas do Dr. Julio Cezar Franchini dos Santos e Dr. Henrique Debiasi, por disponibilizar o experimento para elaboração deste trabalho.

A Universidade Estadual de Londrina e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia por proporcionarem as condições necessárias para o desenvolvimento desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos e por possibilitar a realização desse trabalho.

A todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

“A vida passa muito depressa. Se não paramos para curti-la de vez em quando, ela passa e você nem vê!”
Ferris Bueller (Ferris Bueller's Day Off)

FIGUEIREDO, Alex. **Dinâmica estrutural e da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de culturas e manejos de solo**. 82 folhas. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2020

RESUMO

Avaliar a qualidade do solo é fundamental para definir se o sistema de produção utilizado está sendo manejado de forma adequada. O objetivo do primeiro trabalho foi avaliar o efeito de culturas de outono-inverno, na qualidade e estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido a compactação, e ainda, o efeito da escarificação sobre esses atributos, após quatro anos da sua realização, em relação ao solo manejado sob plantio direto. Avaliou-se três culturas de outono-inverno: Milho de segunda safra (*Zea mays* L.) (MS); Braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (BR); Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb.) (AP) e quatro manejos de solo: Plantio Direto Contínuo (PD); Plantio Direto Escarificado (ESC); Plantio Direto Compactado com quatro passadas de colhedora (C4); Plantio direto compactado com oito passadas de colhedora (C8). Foram determinadas as variáveis: diâmetro médio ponderado (DMP); diâmetro médio geométrico (DMG); índice de estabilidade de agregados (IEA); resistência tênsil dos agregados (RT); Friabilidade (FR); carbono orgânico total (COT). As culturas AP e BR, apresentam melhorias na qualidade e estabilidade estrutural do solo em relação ao MS. Porém, em níveis maiores de compactação, as culturas de outono-inverno, em sucessão de culturas não são eficientes na recuperação da estrutura do solo. A escarificação é ineficiente em melhorar a qualidade e estabilidade estrutural do solo, uma vez que, além de não melhorar sua qualidade reduz sua estabilidade estrutural, podendo ser considerada mais prejudicial que a compactação do solo. Os atributos RT, IEA e COT são mais sensíveis as variações dos sistemas de cultura e manejos de solo, do que o DMP, DMG e FR. O objetivo do segundo trabalho foi avaliar o efeito das culturas de outono-inverno e da escarificação na estabilidade da microestrutura e na qualidade da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho, e ainda, a interação entre esses atributos e a relação deles com os atributos químicos do solo. Avaliou-se quatro culturas de outono-inverno: Trigo (*Triticum aestivum*) (TR); MS; BR; AP e dois manejos de solo: PD e ESC. Foram determinadas as variáveis: argila mecanicamente dispersa em água (AMDA), argila espontaneamente dispersa em água (AEDA), fracionamento químico da matéria orgânica: ácidos fúlvicos (AF); ácidos húmicos (AH); humina (HU), e os atributos químicos do solo. As culturas de outono-inverno e a escarificação não influenciam a microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo. O aumento nos valores de AMDA está relacionado ao aumento dos teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e $pH_{(H_2O)}$ e a redução está relacionada ao aumento dos teores de Al^{3+} e H+Al. A AEDA não é influenciada pelos atributos químicos do solo. As HU aumentam os teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e reduzem os teores de Al^{3+} e H+Al. Os AH reduzem os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumentam os teores de H+Al e Al^{3+} . Não houve influência dos AF. Não se verificou influência das substâncias húmicas na microestrutura do solo.

Palavras-chave: Plantio direto, escarificação, agregação do solo, qualidade do solo.

FIGUEIREDO, Alex. **Structural and organic matter dynamics of a Rhodic Ferralsol under different crop systems and soil management.** 82 sheets. Thesis (Doctorate in Agronomy) – State University of Londrina, Londrina. 2020.

ABSTRACT

Assessing soil quality is essential to define whether the production system used is being properly managed. The objective of the first work were to evaluate the effect of autumn-winter crops, on the quality and structural stability of a Rhodic Ferralsol submitted to compaction, and still, the effect of scarification on these attributes, four years after its realization, concerning the soil managed under no-tillage. Was evaluated three autumn-winter crops: Second crop corn (*Zea mays* L.) (MS); Brachiaria (*Urochloa ruziziensis*) (BR); Black Oats (*Avena strigosa* Schreb.) (AP) and four soil managements: No-tillage without additional compaction (PD); Chiseled no-tillage (ESC); Compacted no-tillage with four harvester passes (C4); Compacted no-tillage with eight harvester passes (C8). The analyzes performed were: mean weighted diameter (DMP); mean geometric diameter (DMG); aggregate stability index (IEA); aggregates tensile strength (RT); Friability (FR); total organic carbon (COT). The BR and AP show improvements in soil quality and structural stability concerning MS. However, at higher levels of compaction, autumn-winter crops in succession of crops are inefficient to recover the soil structure. The chiseling is inefficient in improving the quality and structural stability of the soil, in addition to not improving soil quality, reduces the structural stability, it can be considered more harmful than soil compaction. The attributes RT, IEA and COT are more sensitive to variations provided by different cropping systems and soil management, than the DMP, DMG and FR. The objectives of the second work were to evaluate the effect of autumn-winter crops and chiseling on the stability of the microstructure and in quality of the organic matter of a Rhodic Ferralsol, and still, the interaction between these attributes and their relationship with the chemical attributes of the soil. Was evaluated four autumn-winter crops: Wheat (*Triticum aestivum*) (TR); MS; BR; AP and two soil managements: PD and ESC. The analyzes performed were: mechanically water-dispersible clay (AMDA), spontaneously water-dispersible clay (AEDA), chemical fractionation of organic matter: fulvic acids (AF); humic acids (AH); humin (HU) and the chemical attributes of the soil. Autumn-winter crops and cheseling do not influence the microstructure and the quality of soil organic matter. The increase in AMDA values is related to the increase in the contents of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and $pH_{(H_2O)}$, the reduction is related to the increase in the contents of Al^{3+} and H+Al. The AEDA is not influenced by the chemical attributes of the soil. The HU increasing the values of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and reducing the values of Al^{3+} and H+Al. The AH reducing the values of Ca^{+2} and Mg^{2+} and increasing the levels of Al^{3+} and H+Al. There is no influence of the AF. There is no influence of humic substances in relation to soil microstructure.

Keywords: No-tillage, chiseling, soil aggregation, soil quality.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 3.1 - Resistência tênsil dos agregados após implantação do experimento	37
Figura 3.2 - Friabilidade dos agregados após implantação do experimento	38
Figura 3.3 - Resistência tênsil e friabilidade dos agregados em função dos teores de carbono orgânico total (COT)..	41
Figura 3.4 - Índices de agregação: Diâmetro médio ponderado (DMP); Diâmetro médio geométrico (DMG); Índice de estabilidade dos agregados (IEA), em função dos teores de carbono orgânico total (COT)..	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Resistência tênsil, friabilidade e carbono orgânico total nos sistemas de culturas e manejos de solo, na camada 0,00-0,10 m.	39
Tabela 3.2 - Índices de agregação do solo dos sistemas de culturas e manejos de solo, na camada 0,00-0,10 m.	40
Tabela 4.1 - Caracterização química dos diferentes manejos de solo e sistemas de culturas nas diferentes camadas avaliadas.....	53
Tabela 4.2 - Argila espontaneamente dispersa em água nos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.....	54
Tabela 4.3 - Argila mecanicamente dispersa em água nos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.....	55
Tabela 4.4 - Ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas dos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.....	56
Tabela 4.5 - Correlação linear de Pearson entre os atributos físicos e químicos para os diferentes manejos de solo e sistemas de culturas.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SPD	Sistema Plantio Direto
PD	Plantio Direto
PDE	Plantio direto escarificado
C4	Plantio Direto compactado com 4 passadas de colhedora
C8	Plantio Direto compactado com 8 passadas de colhedora
COT	Carbono Orgânico Total
MO	Matéria Orgânica
AF	Ácidos Fúlvicos
AH	Ácidos Húmicos
HU	Huminas
RT	Resistência Tênsil
FR	Friabilidade
DMP	Diâmetro médio ponderado
DMG	Diâmetro Médio Geométrico
IEA	Índice de estabilidade de agregados
AMDA	Argila Mecanicamente Dispersa em Água
AEDA	Argila Espontaneamente Dispersa em Água
PCZ	Ponto de Carga Zero
TFSA	Terra Fina Seca ao Ar
TFSE	Terra Fina Seca em Estufa
RPM	Rotação Por Minuto
BR	Braquiária (<i>Urochloa ruziziensis</i>)
MS	Milho de Segunda Safra (<i>Zea mays</i> L.)
TR	Trigo (<i>Triticum aestivum</i>)
AP	Aveia Preta (<i>Avena strigosa</i> Schreb.)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO	15
2.2	SISTEMAS DE CULTURAS.....	16
2.3	ESTABILIDADE DOS AGREGADOS	17
2.4	RESISTÊNCIA TÊNซิล E FRIABILIDADE DOS AGREGADOS	20
2.5	QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO.....	21
2.6	ARGILA DISPERSA EM ÁGUA	22
2.6.1	Influência dos Íons na Dispersão da Argila	23
2.6.2	Influência da Matéria Orgânica na Dispersão da Argila	25
2.6.3	Influência do pH na Dispersão da Argila	26
3	ARTIGO A: QUALIDADE E ESTABILIDADE ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A COMPACTAÇÃO SOB DIFERENTES CULTURAS DE OUTONO-INVERNO	28
3.1	RESUMO	28
3.2	ABSTRACT.....	29
3.3	INTRODUÇÃO	30
3.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.4.1	Área Experimental.....	31
3.4.2	Delineamento Experimental e Tratamentos	32
3.4.3	Condução do Experimento.....	32
3.4.4	Procedimentos Amostrais	33
3.4.5	Determinação dos Índices de Agregação.....	33
3.4.6	Determinação da Resistência Tênil e Friabilidade dos Agregados.....	34
3.4.7	Determinação do Carbono Orgânico Total e Granulometria	36
3.4.8	Procedimentos Estatísticos	36
3.5	RESULTADOS	36
3.6	DISCUSSÃO.....	42

3.7	CONCLUSÕES.....	46
4	ARTIGO B: DISPERSÃO DE ARGILA E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO E PLANTIO DIRETO ESCARIFICADO COM DIFERENTES CULTURAS DE OUTONO-INVERNO.....	47
4.1	RESUMO	47
4.2	ABSTRACT.....	48
4.3	INTRODUÇÃO	49
4.4	MATERIAL E MÉTODOS.....	50
4.4.1	Área Experimental.....	50
4.4.2	Delineamento Experimental e Tratamentos	50
4.4.3	Condução do Experimento.....	51
4.4.4	Procedimentos Amostrais	51
4.4.5	Granulometria e Argila Mecanicamente Dispersa em Água.....	51
4.4.6	Argila Espontaneamente Dispersa em Água.....	52
4.4.7	Análises Químicas do Solo	52
4.4.8	Fracionamento Químico da Matéria Orgânica.....	53
4.4.9	Procedimentos Estatísticos	54
4.5	RESULTADOS	54
4.6	DISCUSSÃO.....	58
4.7	CONCLUSÕES.....	62
5	REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

Mesmo que o decréscimo populacional ocorra, estima-se que até a metade do século XXI a população mundial passará de 9 bilhões de pessoas, exigindo o dobro da atual produção mundial de alimentos. Para atender a demanda por alimentos e matérias primas, o desafio será aumentar a produção de biomassa e a produtividade, não apenas em condições ideais, mas também em condições restritas, sobretudo de qualidade de solo. Assim, a conservação do solo será fundamental para alcançar este desafio, sendo capaz de melhorar o rendimento das culturas e estruturar um ambiente sustentável e produtivo.

O solo é negligenciado pela agricultura moderna. O sistema de plantio direto (SPD) é considerado uma das principais alternativas para o manejo sustentável do solo. O SPD pode melhorar a estabilização do carbono orgânico total (COT), a qualidade e estabilidade estrutural do solo, reduzir a compactação sub-superficial e o teor de argila dispersa em água em relação ao preparo convencional. Esses benefícios são obtidos pela redução da perturbação, manutenção da cobertura na superfície do solo e pela rotação de culturas. Em contrapartida, o revolvimento intensivo do solo tende a reduzir sua cobertura, o teor de COT das camadas superficiais e o diâmetro dos agregados.

O SPD, no entanto, pode aumentar a compactação do solo na camada superficial. Para reduzir a compactação, tem-se usado alternativas mecânicas e culturais. Entre as mecânicas, vem sendo utilizado a escarificação com intervalos frequentes. Dentre as culturais, tem-se destacado o uso de culturas de outono-inverno.

Uma vez que implementos e culturas podem provocar melhorias na qualidade e estabilidade estrutural do solo, é importante avaliar seus efeitos sobre a qualidade do solo, para saber se há a necessidade de adequações no sistema utilizado. Assim, para avaliar a qualidade do solo, é necessário selecionar atributos sensíveis às variações do manejo, bem como, correlacionados com as funções desempenhadas pelo solo. Dentre os indicadores, estão a estabilidade, resistência tênsil e friabilidade dos agregados, dispersão de argila e a qualidade da matéria orgânica. Assim, a proposta do trabalho foi avaliar o efeito de diferentes culturas de outono-inverno e escarificação na qualidade estrutural e química do solo. Para isso, o trabalho foi dividido em duas partes.

No primeiro trabalho as hipóteses foram: que as plantas de cobertura melhoram a qualidade e estabilidade estrutural dos solos submetidos a compactação, em relação ao milho de segunda safra; o solo em plantio direto apresenta qualidade e estabilidade estrutural, equivalente ao escarificado, quatro anos após essa operação. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de culturas de outono-inverno, na qualidade e estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido a compactação, e ainda, o efeito da escarificação sobre esses atributos, após quatro anos da sua realização, em relação ao solo manejado sob plantio direto.

No segundo trabalho a hipótese é que a escarificação e as culturas alteram a estabilidade da microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das culturas de outono-inverno e da escarificação na estabilidade da microestrutura e na qualidade da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distroférico, e ainda, a interação entre esses atributos e a relação deles com os atributos químicos do solo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SISTEMAS DE MANEJO DO SOLO

O preparo convencional promove a ruptura dos agregados ocasionada pelo revolvimento do solo, o que contribui para um maior ataque dos organismos, acelerando as perdas de COT pela oxidação da matéria orgânica (MO) e pelos processos de erosão (OADES, 1984; MENDONÇA; ROWELL, 1994). Por manter os resíduos vegetais na superfície, o SPD pode aumentar os teores de MO melhorando algumas propriedades físicas, em relação ao preparo convencional (CARPENEDO; MIELNICZUK, 1990).

Calegari et al. (2006) observaram que o sistema convencional, com contínuo revolvimento e incorporação dos resíduos vegetais, acelerou o processo de mineralização da MO, proporcionando menores valores de COT, contribuindo para o processo de degradação das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e o SPD promoveu maior proteção da MO, maior agregação das partículas, diminuindo o risco de erosão. Também observaram que o plantio direto (PD) tradicional, não diferiu do sistema convencional. Além disso, Ralisch (1999) observou que, entre outros

sistemas estudados, apenas o SPD considerado integral não apresentou indícios de deterioração do solo.

Segundo Oades (1984) e Mendonça e Rowell (1994), o sistema convencional por revolver o solo, pode provocar desagregação das partículas, aceleração na decomposição do COT e menores índices de estabilidade de agregados em relação aos demais manejos. Huang et al. (2015) observaram que a combinação do SPD com adubo orgânico pode aumentar a formação de macroagregados e melhorar as propriedades físicas do solo. Segundo os autores esses impactos podem ser atribuídos à diminuição da perturbação do solo e à adição de resíduos ou restos culturais.

Silva et al. (2014) observaram melhor qualidade do solo nos SPD, que são predominantemente menos compactos e apresentam maior porosidade que o sistema convencional. Segundo Sá et al. (2014), o SPD oferece um vasto potencial para diminuir a degradação ambiental, restaurando a resiliência do solo e aumentando a produtividade.

Lovato et al. (2004), estudando diferentes sistemas de manejo do solo e de culturas, observaram que a recuperação dos estoques de COT e de nitrogênio total ocorreu apenas no solo em SPD, o que indica que a eliminação do revolvimento do solo é uma prática fundamental, quando se tem por objetivo a recuperação de solos degradados.

Nascente, Li e Crusciol (2015) avaliando o SPD, plantio convencional e pousio como controle, observaram que SPD proporcionou maior estabilidade de agregados de solo em relação ao plantio convencional.

2.2 SISTEMAS DE CULTURAS

Uma característica importante do SPD é o cultivo de plantas de cobertura antes das culturas comerciais (NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2015). Sendo utilizadas para reduzir a compactação, ao invés de implementos mecânicos (GONÇALVES et al., 2006; CALONEGO; ROSOLEM, 2008). O material residual das plantas de cobertura na superfície do solo mais a ausência de perturbações no SPD reduzem as perdas de nutrientes e aumentam a MO do solo (CRUSCIOL et al., 2012; NASCENTE; CRUSCIOL, 2012).

As forragens perenes utilizadas como plantas de cobertura têm grande potencial de armazenamento de carbono e influenciam diretamente os níveis de MO e agregação de solo (NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2013). De acordo com Lovato et al. (2004) e Bayer et al. (2000), a alta densidade de raiz produzida por gramíneas forneceu a produção de exsudados ao solo e afetou sua estrutura e melhorou a atividade microbiana, com reflexos positivos na agregação. Calonego e Rosolem (2008) relataram que as plantas de cobertura aumentaram a agregação do solo devido a exsudados de raízes de plantas. Além disso, seus resíduos protegem os agregados de solo contra o impacto das chuvas e variações na umidade e temperatura do solo (BRONICK; LAL, 2005).

O preparo do solo em geral inibe o desenvolvimento de agregados estáveis maiores (KASPER et al., 2009), assim, o manejo do solo sem mobilização e com o uso de plantas de cobertura, especialmente durante o inverno, favorece o aumento no número de macroagregados (NASCENTE; LI; CRUSCIOL, 2015), liberando seus exsudados radiculares no solo, promovendo ligações entre partículas minerais, favorecendo a formação e estabilização de agregados (BRONICK; LAL, 2005; FERREIRA et al., 2007).

Nascente, Li e Crusciol (2015), avaliando plantas de cobertura: *Panicum maximum*, *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa brizantha* e *Pennisetum glaucum*, observaram que as plantas proporcionam alterações na densidade aparente do solo, em que as menores densidades foram encontradas nos tratamentos de *Pennisetum glaucum*, e que as plantas de cobertura em associação ao não preparo do solo levaram à maior acúmulo de COT nas camadas superficiais do solo.

Lovato et al. (2004) estudando manejos de solo e plantas cobertura, observaram que a utilização de leguminosas, contribuiu para a maior adição anual de carbono no solo, a qual foi diretamente relacionada com as alterações dos estoques deste elemento. Segundo os autores os vegetais são os principais responsáveis pela adição de compostos orgânicos primários no solo. Por outro lado, observaram que o pousio, proporciona baixo valor anual de adição de carbono.

2.3 ESTABILIDADE DOS AGREGADOS

A estabilidade de agregados é um parâmetro complexo que influencia muitas propriedades do solo, incluindo a estabilização do carbono, porosidade,

infiltração, aeração, condutividade hidráulica, resistência a erosão e escoamento superficial. A manutenção da estabilidade dos agregados é fundamental para preservar a fertilidade do solo e minimizar a erosão (AN et al. 2010; BARTHÈS; ROOSE, 2002).

Os agregados são formados por partículas minerais e agentes cimentantes que podem ser inorgânicos, organo-minerais, associações ou orgânicos, ligando-se por forças de coesão e adesão que se estabelecem nas interfaces entre as partículas, entre as partículas e os agentes cimentantes e as substâncias presente no solo (TISDALL; OADES, 1982; KEMPER; ROSENAU, 1986).

A estabilidade dos microagregados (< 250 µm) ocorre principalmente devido a ação dos polissacarídeos, resíduos orgânicos e bactérias. A estabilidade dos macroagregados depende mais das raízes e dos fungos. O material orgânico liberado pelas raízes pode estabilizar os agregados diretamente, ou indiretamente provendo uma fonte de energia para os microrganismos da rizosfera (TISDALL, 1994; TISDALL; OADES, 1982).

Existem diversos fatores que influenciam na estabilidade dos agregados, como, textura, mineralogia, teor de cátions, óxidos de ferro e alumínio e a MO do solo. Dentre esses fatores a MO é o fator mais sensível a alterações provocadas pelo manejo, logo é necessário sua preservação e incremento, levando em consideração a quantidade e a qualidade dos resíduos orgânicos, (ABIVEN; MENASSERI; CHENU, 2009).

Oades e Waters (1991) concluíram que existe hierarquia de agregados, em que os processos de formação e estabilização são influenciados por MO, porém em solos ricos em óxidos, como os Latossolos, não é encontrado este comportamento, diminuindo a expressão da hierarquia dos agregados com menor efeito agregante da MO. Arruda et al. (2010) observaram que a adição de material orgânico reduziu a agregação de um Latossolo Vermelho, entretanto a alteração foi pouco pronunciada, devido aos altos teores de argila e óxidos de ferro ligado ao teor de COT. Peng et al. (2015) encontraram evidências de que os sesquióxidos atuam principalmente na estabilização de microagregados, enquanto que a MO está principalmente relacionada aos macroagregados.

Tisdall e Oades (1982) dividem os agentes de agregação em três grandes grupos: transitória, temporária e persistente. O primeiro grupo é composto por substâncias de rápida decomposição microbiana, incluindo os polissacarídeos. O

segundo grupo é composto pelas raízes e hifas dos fungos e o terceiro grupo é composto por substâncias húmicas aromáticas associadas a minerais na forma de organo-minerais, estas substâncias são estáveis e são responsáveis pela estabilidade dos microagregados.

Trabalhando com solos do Paraná, Tavares Filho et al. (2012) observaram que atributos relacionados à compactação, juntamente com o pH e a MO foram importantes para a estimativa da estabilidade de agregados, evidenciando a importância desses atributos no referido fenômeno, porém An et al. (2010) relatam que há relativamente pouca informação disponível sobre o efeito do carbono na distribuição dos diferentes tamanhos de agregados. De acordo com Abiven et al. (2007), a importância relativa dos diferentes mecanismos de agregação relacionadas aos agentes biológicos ainda não está totalmente clara.

Salton et al. (2008) estudando a estabilidade dos agregados em diferentes manejos de solo: SPD, pastagens permanentes e pastagens rotacionadas com PD, observaram que a estabilidade dos agregados está relacionada com os teores de COT no solo, e que a manutenção dos agregados maiores, somente foi obtida com a rotação lavoura-pastagem em ciclos de dois anos ou com pastagem permanente.

Zotarelli et al. (2007) ao avaliar o fracionamento dos agregados em Latossolos, observaram que o PD proporciona melhores condições para a formação de agregados em relação ao plantio convencional, principalmente na camada superficial, por meio da acumulação de COT, e que a combinação do PD com as plantas de cobertura promoveu a estabilização dos agregados. Este processo é melhor conhecido para os solos de regiões temperadas com predominância de argila 2:1 e este trabalho confirmou que este processo também pode ocorrer em solos de regiões tropicais como os Latossolos com predominância de argila 1:1 e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio.

Vezzani e Mielniczuk (2011) estudando diferentes manejos, observaram que a mínima mobilização do solo, associadas à adição de carbono pelas culturas, recuperaram a agregação do solo e o estoque de carbono próximo da condição original de campo nativo. Assim como, a utilização de gramíneas perenes com sistema radicular denso promoveu, em 17 anos, a recuperação da proporção de macroagregados do solo, porém com menor estoque de carbono.

2.4 RESISTÊNCIA TÊNซิล E FRIABILIDADE DOS AGREGADOS

De acordo com Dexter e Watts (2000) a resistência t nsil (RT) dos agregados   a for a por unidade de  rea necess ria para causar a ruptura dos agregados e a friabilidade (FR) do solo pode ser definida como a tend ncia de uma massa de solo de se desfazer em menores tamanhos de agregados sob aplica o de um estresse ou carga.

A RT pode ser influenciada pelos ciclos de umedecimento e secagem (UTOMO; DEXTER, 1981), composi o qu mica e concentra o da solu o do solo (RAHIMI; PAZIRA; TAJIK, 2000), teor de argila e mineralogia (IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002), teor de argila dispersa (SHANMUGANATHAN; OADES, 1982) e m teria org nica (IMHOFF; SILVA; DEXTER, 2002). Com isso, apresentando sensibilidade as altera es causadas pelos sistemas manejo (MUNKHOLM; SCHJ NNING, 2004; BLANCO-CANQUI et al., 2005). Podendo ser considerada como um bom indicador da qualidade do solo.

Do mesmo modo, a FR pode ser considerada uma boa indicadora da qualidade do solo (UTOMO; DEXTER, 1981). Em que, valores elevados de FR indicam que agregados maiores possuem menor resist ncia   ruptura do que agregados menores, proporcionando distribui o adequada do tamanho de agregados (TORMENA; FIDALSKI; ROSSI JUNIOR, 2008).

A FR pode ser medida de duas formas, tanto por medidas dos agregados (UTOMO; DEXTER, 1981), como estimada pelo m todo do coeficiente de varia o (WATTS; DEXTER, 1998). Os valores obtidos pelo m todo do coeficiente de varia o s o menores do que os encontrados pelo m todo utilizando as medidas dos agregados. Em que, Imhoff, Silva e Dexter (2002) utilizaram a classifica o da FR do solo proposta por Utomo e Dexter (1981) multiplicada por dois.

Tormena, Fidalski e Rossi Junior (2008) caracterizaram a redu o da qualidade do solo proporcionalmente   intensidade da sua utiliza o, por meio da RT e FR. Assim como, observaram que a RT aumentou com a redu o dos teores de COT e que a FR foi maior no solo sob mata, comparado com pousio e cultivo. Reis, Lima e Pauletto (2014) observaram que a RT de agregados apresenta rela o inversa, no entanto n o significativa, com o teor de COT, e que a FR n o   sens vel  s altera es promovidas pelas diferentes plantas de coberturas. Ferreira et al. (2011) observaram a rela o inversa entre a RT e o teor de COT. Em que o aumento do COT

no solo foi promovido pelas culturas da família das poáceas que possuem uma característica de reduzir a densidade do solo de maneira efetiva.

2.5 QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

Para melhor compreensão do comportamento da MO é necessário estudos mais detalhados, com avaliações que caracterizem mais precisamente suas frações mais ou menos estáveis, o que, além da quantificação, permite uma compreensão de sua qualidade. Ekwue e Stone (1995) observaram que não apenas o teor, mas também o tipo de MO presente tem influência sobre a agregação do solo. Assim, o fracionamento químico da MO se torna interessante para caracterizar e indicar sua qualidade. A técnica consiste na separação em frações por meio de diferenças de solubilidade em solução ácida e/ou alcalina (CANELLAS et al., 2001), obtendo três frações, os ácidos fúlvicos (AF), os ácidos húmicos (AH) e as huminas (HU).

Os AF apresentam maior polaridade e menor massa molecular (entre 1.000 e 5.000 Daltons), são solúveis tanto em solução ácida, como em solução alcalina (STEVENSON, 1994; SILVA; MENDONÇA, 2007). A solubilidade ajuda a explicar o fato de os AF representarem a fração mais lábil dentre as frações húmicas e, também, a alta mobilidade dos AF, que tendem a formar complexos com cátions metálicos (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

Os AH são constituídos por macromoléculas de massa molecular elevada entre 2.000 e 1.300.000 Daltons, formadas por meio de reações de síntese secundária a partir de resíduos de plantas, animais e microrganismos (STEVENSON, 1994). São insolúveis em meio ácidos e solúveis em meio alcalino, com estrutura complexa e tendência de apresentar maior concentração de grupos aromáticos e menor de grupos carboxílicos e C-O alquil se comparados aos AF (CANELLAS et al., 2001; PICCOLO, 2002).

As HU representam a MO intimamente ligada à fração mineral do solo, sendo por isso insolúvel tanto em meio ácido, como em meio alcalino. Apresenta baixa reatividade e é responsável pela agregação das partículas, compondo maior parte do carbono humificado na maioria dos solos tropicais (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003), o que pode ser justificado pela diminuição do percentual das frações AF e AH

no solo, devido a menor estabilidade, processos de movimentação no perfil, polimerização e mineralização dessas frações (LEITE et al., 2003).

Segundo Bastos et al. (2005), uma molécula com forte caráter hidrofóbico e hidrofílico, como o AH, é capaz de aumentar a agregação do solo sem sofrer a influência de outros compostos de maior ou menor grau de hidrofobicidade. Nesse sentido, a fração orgânica composta pelo carbono do solo tem papel fundamental na sustentabilidade dos sistemas agrícolas (BODDEY et al., 2010).

Shanmuganathan e Oades (1983) observaram que a adição de AH pode tanto diminuir como aumentar a dispersão de argila, dependendo do solo e predomínio de forças repulsivas ou atrativas, que está relacionado ao tipo e teores de partículas minerais e complexantes orgânicos. Benites e Mendonça (1998) observaram que o uso de AH nas doses estudadas favoreceu as condições físicas de solos eletropositivos, reduzindo a dispersão de argila, mostrando que a MO pode apresentar efeito dispersivo ou agregante. Igwe (2005) notou que uma das maneiras em que o teor de MO pode levar a dispersão da argila é quando a proporção de AF para AH aumenta tornando assim a MO mais solúvel.

Santos et al. (2014) observaram que a braquiária promoveu níveis mais altos de COT, em particular as frações de AH. Assim como, observaram que o carbono das substâncias húmicas e o associado aos minerais, apresentaram as maiores proporções do COT e demonstraram a forte interação da MO com os óxidos de Fe e Al e a caulinita, que predominam nos solos intemperizados do Cerrado.

2.6 ARGILA DISPERSA EM ÁGUA

A dispersão de argila tem relação direta com o comportamento da dupla camada elétrica, com teores de argila do solo, com a interação mineral e MO, com os teores de cátions e microorganismos (ASSOULINE; TAVARES FILHO; TESSIER, 1997). A interação entre mineral, MO e cátions vai produzir cargas. O excesso de cargas da argila, tanto negativa como positiva, pode causar sua dispersão. A dispersão da argila afeta a estabilidade dos agregados, densidade e porosidade do solo, prejudicando a infiltração da água, podendo acarretar em problemas com erosão.

A dispersão das partículas coloidais do solo está relacionada com a interação das cargas elétricas. Podendo ser gerada por substituição isomórfica (permanentes) ou por dissociação de radicais (variáveis). As cargas variáveis,

predominantes em Latossolos, dependem de propriedades químicas do solo como o pH e da concentração eletrolítica da solução do solo (AZEVEDO; BONUMÁ, 2004).

Nos solos, principalmente os que sofreram intenso processo de intemperismo, a presença de componentes com diferentes cargas interfaciais desfavorecem a dispersão das partículas de argila. A caulinita por exemplo, muitas vezes o mineral mais abundante da fração argila de solos com alto grau de intemperismo, normalmente apresenta a face octaedral com cargas positivas, a face tetraedral neutra e, nas bordas, os grupos aluminol e silanol apresentam cargas positivas e negativas na faixa de pH comum aos solos, respectivamente (TOMBÁCZ; SZEKERES, 2006). Isso favorece a floculação da argila pela interação face-borda em minerais de caulinita (KRETZSCHMAR; HOLTHOFF; STICHER, 1993). A agregação de partículas em que as interfaces envolvidas não possuam mesma carga é denominada heteroagregação e, devido a menor barreira à agregação por essa via (TREFALT; RUIZ-CABELLO; BORKOVEC, 2014), provavelmente é o mecanismo predominante em Latossolo Vermelho.

2.6.1 Influência dos Íons na Dispersão da Argila

Benites e Mendonça (1998) observaram que a presença de sais provenientes de adubos, em altas concentrações favorece a expansão da dupla camada elétrica dos coloides, tornando-os mais susceptíveis à dispersão. Segundo Meurer (2006), cátions com alto grau de hidratação formam complexos de esfera externa e aumentam a distância entre as partículas. Desse modo, as forças de atração de curto alcance não se manifestam, dispersando as argilas

Morelli e Ferreira (1987) relatam que o hidrogênio trocável (H^+) é um cátion que apresenta efeito floculante nas partículas do solo, podendo com o aumento de seu teor no solo reduzir o teor de ADA. Erthal et al. (2010), Silva et al. (2011) e Homem et al. (2014) observaram que o aumento dos teores de potássio trocável (K^+) promoveram aumento de ADA. Paradelo, Van Oort e Chenu (2013), observaram que todos os tratamentos que receberam K^+ apresentaram incremento nos teores de ADA, em relação ao controle.

Seta e Karathanasis (1996) observaram que entre as propriedades do solo, o alumínio trocável (Al^{3+}) apresentou correlação negativa com frações de ADA. Nguetnkam e Dultz (2014) observaram que a amostra de Vertissolo, que obteve as

maiores frações de ADA, apresentou o menor valor de Al^{3+} , e que a amostra de Latossolo Vermelho que conteve a menor fração de ADA, obteve o maior valor de Al^{3+} . Pois, a neutralização do Al^{3+} , íon que estabiliza a estrutura do solo, tem ação dispersante (JUCKSCH, 1987; PAVAN; ROTH, 1992).

Na literatura observa-se que o cálcio trocável (Ca^{2+}) pode tanto flocular como dispersar as partículas de argila. Segundo Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) o aumento da concentração de Ca^{2+} pode deslocar o Al^{3+} , que é o principal agente floculante da solução do solo, causando a expansão da dupla camada elétrica, aumentando a distância entre os coloides. Silva et al. (2006) estudando um solo com aplicação de vinhaça, observaram que os menores valores de ADA, possivelmente foram devidos a maior saturação de Ca^{2+} , considerado íon floculante, corroborando com o observado por (CAMARGO et al., 1988).

Albuquerque et al. (2000, 2003) observaram a diminuição do grau de floculação da argila no solo, relacionado com maior repulsão entre partículas, pelo aumento da carga líquida negativa e aumento da espessura da dupla camada elétrica. Para Fontes et al. (1995), isto pode estar relacionado com a substituição do Al^{3+} por Ca^{2+} e magnésio trocável (Mg^{2+}) no complexo de troca. Albuquerque et al. (2003), também observaram que a adição de fosfato ao solo não interferiu sobre o grau de floculação da argila. Não constatando correlação entre o grau de floculação e os teores de fósforo disponível (P) no solo.

Corrêa et al. (2003), Silva et al. (2006) e Oliveira et al. (2008) observaram que o aumento nos teores de ADA pode ser devido aos maiores teores de saturação por sódio trocável (Na^+). Esses dados corroboram com Sposito (1989) que observou aumento da espessura da dupla camada difusa e menor atração das partículas na solução do solo provocado pelo Na^+ , com aumento da ADA. Corrêa et al. (2003) também observaram que o baixo grau de floculação, pode estar relacionado ao efeito dispersivo causado por Mg^{2+} , que mesmo em condição de baixos teores de Na^+ em relação aos de Ca^{2+} , a argila dispersa mostra-se elevada, com uma correlação significativa entre os teores de Mg^{2+} e os valores de ADA.

Silva, Lima e Dias Junior (1999); Lima, Anderson e Curi (2000) verificaram influência da aplicação de fosfato em relação a ADA, onde solos com carga superficial líquida positiva, isto é, solos com pH menor que o ponto isoelétrico, a absorção de fosfato pode causar diminuição na dispersão de argila, tornando a carga líquida do solo menos positiva. Ribeiro et al. (2011) também observaram que a

adsorção de P tornou a superfície das partículas de argila mais eletronegativa, situação na qual favorece a dispersão de argila.

2.6.2 Influência da Matéria Orgânica na Dispersão da Argila

O COT é um dos principais atributos do solo que influenciam a dispersão e floculação da argila (KRETZSCHMAR; HOLTTHOFF; STICHER, 1993; SETA; KARATHANASIS, 1996). Sendo um importante agente cimentante das partículas, que interage fortemente com óxidos de ferro (DUIKER et al., 2003), principalmente com os de alumínio (VENDRAME et al., 2011). Igwe e Udegbunam (2008), observaram correlação negativa entre o COT e a dispersão de argila. O manejo do solo, por ter capacidade de influenciar no teor de COT, também tem influência importante na dispersão de argila (RHOTON, 2000; SHAW; TRUMAN; REEVES, 2002).

De acordo com Corrêa et al. (2008), os valores superiores de ADA ocorrem quando há adição de ácidos de baixo peso molecular, comparado a adição de ácidos de alto peso molecular. Segundo os autores, este fato está relacionado à maior interação desses ânions com as partículas coloidais inorgânicas dos solos, que se dá de forma mais específica (troca de ligantes), alterando o ponto isoelétrico dos minerais na fração argila. Essa ligação neutraliza cargas positivas, gerando excesso de cargas negativas (TOMBÁ CZ et al., 2004) ocasionando repulsão e, conseqüentemente, dispersão das partículas do solo.

A MO desempenha influência direta e indireta nos processos físico-químico-biológicos do solo, sendo que em algumas situações a MO favorece a floculação da argila e em outras causa sua dispersão (GOMES et al., 1994). Nguyen et al. (2013) observaram que ânions orgânicos facilitaram a dispersão de argila na seguinte ordem: oxalato>citrato>acetato, onde a adsorção destes nos sítios de cargas positivas das partículas, diminui o potencial zeta, que é fator determinante para a dispersão das partículas de argilas. Benites e Mendonça (1998) observaram que a adição de material não humificado (esterco) no solo em doses menores favoreceu a floculação da argila, e na medida em que aumentaram as doses aplicadas, promoveu mudança no potencial elétrico superficial, favorecendo a dispersão da argila.

Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) observaram que mesmo com o aumento da MO no solo, devido a aplicação de lodo de esgoto, em dois tipos de

solos, textura média e argilosa, não foi possível observar diferenças na dispersão de argila, comparado com o solo que não recebeu material orgânico. Porém observaram alta correlação positiva entre ADA e COT. Paiva et al. (2000) relataram que o aumento no teor de MO do solo pode gerar cargas elétricas negativas excessivas, gerando repulsão entre os coloides, elevando o nível de dispersão de argila.

Nguetnkam e Dultz (2011) observaram que o horizonte A apresentou maior dispersão de argila, quando comparado com o horizonte B, podendo estar relacionado a MO. Segundo os autores a adsorção de ácidos húmicos pode gerar carga de superfície mais negativa, isto tenderá a desestabilizar as partículas de argila, e por outro lado, os mesmos compostos podem, dependendo das condições específicas, conduzir à agregação e à estabilização de partículas coloidais. Em alguns casos o baixo teor de COT nos solos pode causar dispersão de argila, enquanto que altos teores podem mostrar menor dispersão (MULLINS et al., 1990; SETA; KARATHANASIS, 1996).

Alleoni e Camargo (1994) observaram que os teores de ADA diminuíram em profundidade, sendo maior no horizonte A em relação ao horizonte B, e que provavelmente este aumento ocorreu por causa dos maiores valores de COT na camada superficial do solo em relação às camadas subsuperficiais. O que está relacionado ao fato da MO ser uma das principais fontes de cargas negativas do solo (VAN RAIJ; PEECH, 1972). Porém Carvalho Júnior, Fontes e Costa (1998) e Beutler et al. (2001) relacionaram os menores teores de ADA com os maiores teores de MO, evidenciando a importância da MO na flocculação das partículas.

Durgin e Chaney (1984) ressaltam que, além de bloquear cargas positivas, os polímeros orgânicos podem gerar cargas negativas em razão dos seus grupos funcionais, principalmente carboxílicos e fenólicos. Assim como, as interações de ácidos orgânicos com óxidos metálicos ou minerais de argila, criam carga de superfície negativa ou fazem com que ela fique mais negativa (XU; LI; JI, 2004), podendo induzir a desestabilização das partículas de argila e aumentar a ADA.

2.6.3 Influência do pH na Dispersão da Argila

Os valores de ADA estão diretamente relacionados com os de pH, principalmente em solos com predomínio de cargas dependente de pH como os Latossolos. O pH modifica a carga líquida de superfície das partículas afetando a

dispersão de argilas (NGUETNKAM; DULTZ, 2014). Igwe e Udegbumam (2008) observaram que o pH é, além de outras propriedades do solo, um dos fatores que influencia a dispersão, e que estes atributos obtiveram correlação positiva.

Ferreira et al. (2010) e Tavares Filho, Barbosa e Ribon (2010) observaram que a dispersão de argila tende a diminuir quando o ΔpH fica mais perto de zero, o que ocorre quando o pH se aproxima do ponto de carga zero (PZC), ponto onde o número de carga positiva é igual ao de carga negativa. Portanto, quanto maior a distância entre o pH e o PCZ maior será a dispersão da argila, pois ocorre maior repulsão eletrostática e diminui a floculação da mesma (VAN RAIJ; PEECH, 1972; UEHARA; GILLMAN, 1980; OADES, 1988; LEVY; EISENBERG; SHAINBERG, 1993).

Segundo Chorom e Rengasamy (1995) o balanço de carga líquida negativa é um fator que causa dispersão de argila, e que o pH afeta a ADA, por alterar a carga líquida das partículas de argila. Seta e Karathanasis (1996) observaram que a diferença entre o pH do solo e o PCZ indica a carga de superfície líquida e que o aumento desta, produz forças de repulsão entre as partículas do solo e, aumenta a capacidade de dispersão.

Barbosa et al. (2015) observaram que alguns dias após a aplicação de esterco de suíno, houve aumento no pH, resultando em um ΔpH mais negativo, por causa da saturação da argila com cargas negativas, aumentando o teor de ADA. Oliveira et al. (2008) observaram que os horizontes subsuperficiais são mais floculados por terem, em média, menor pH, quando comparado aos horizontes de superfície.

Nguetnkam e Dultz (2011) observaram que o pH, ao modificar a carga de superfície negativa líquida da fração argila, afeta a dispersão da argila no solo. Em que a quantidade de sítios de cargas dependente do pH na solução do solo, que controla as reações de protonação e desprotonação (RENGASAMY; OLSSON, 1991).

3 ARTIGO A: QUALIDADE E ESTABILIDADE ESTRUTURAL DE UM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A COMPACTAÇÃO SOB DIFERENTES CULTURAS DE OUTONO-INVERNO

3.1 RESUMO

Substituir práticas mecânicas de descompactação do solo por culturais é fundamental para uma agricultura conservacionista e sustentável. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de culturas de outono-inverno, na qualidade e estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido a compactação, e ainda, o efeito da escarificação sobre esses atributos, após quatro anos da sua realização, em relação ao solo manejado sob plantio direto. Foram avaliadas três culturas de outono-inverno: Milho de segunda safra (*Zea mays L.*) (MS); Braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (BR); Aveia Preta (*Avena strigosa Schreb.*) (AP), em quatro manejos de solo: Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio Direto Escarificado (ESC); Plantio Direto Compactado com quatro passadas de colhedora (C4); Plantio direto compactado com oito passadas de colhedora (C8). Foram determinadas as variáveis: diâmetro médio ponderado (DMP); diâmetro médio geométrico (DMG); índice de estabilidade de agregados (IEA); resistência tênsil dos agregados (RT); Friabilidade (FR); carbono orgânico total (COT). As culturas de cobertura (BR e AP), apresentam melhorias na qualidade e estabilidade estrutural do solo em relação ao MS. Porém, em níveis maiores de compactação, as culturas de outono-inverno em sucessão de culturas, não são eficientes na recuperação da estrutura do solo. A escarificação não é eficiente em melhorar a qualidade e estabilidade estrutural do solo, além de não melhorar sua qualidade reduz sua estabilidade estrutural, podendo ser considerada mais prejudicial que a compactação do solo. Os atributos RT, IEA e COT são mais sensíveis as variações proporcionadas pelos diferentes sistemas de cultura e manejos de solo, em relação ao DMP, DMG e FR.

Palavras-chave: Plantio direto, braquiária, índices de agregação, resistência tênsil dos agregados, carbono orgânico total.

ARTICLE A: STRUCTURAL QUALITY AND STABILITY OF A RHODIC FERRALSOL SUBMITTED TO COMPACTION UNDER DIFFERENT AUTUMN-WINTER CROPS

3.2 ABSTRACT

Replace mechanical practices of soil decompaction for cultural ones is fundamental for for a conservationist and sustainable agriculture. The objective of the work were to evaluate the effect of autumn-winter crops, on the quality and structural stability of a Rhodic Ferralsol submitted to compaction, and still, the effect of scarification on these attributes, four years after its realization, concerning the soil managed under no-tillage. Three autumn-winter crops were evaluated: Second-crop Corn (*Zea mays* L.) (MS); Braquiária (*Urochloa ruziziensis*) (BR); Black Oats (*Avena strigosa* Schreb.) (AP), in four soil managements: No-tillage without additional compaction (PD); Chiseled no-tillage (ESC); Compacted no-tillage with four harvester passes (C4); Compacted no-tillage with eight harvester passes (C8). The variables were determined: mean weighted diameter (DMP); mean geometric diameter (DMG); aggregate stability index (IEA); aggregates tensile strength (RT); Friability (FR); total organic carbon (COT). Cover crops (BR and AP) show improvements in soil quality and structural stability concerning MS. However, at higher levels of compaction, autumn-winter crops in succession of crops are inefficient to recover the soil structure. The chiseling is inefficient in improving the quality and structural stability of the soil, in addition to not improving soil quality, provides a reduction in structural stability, it can be considered more harmful than soil compaction. The attributes RT, IEA and COT are more sensitive to variations provided by different cropping systems and soil management, concerning DMP, DMG and FR.

Keywords: No-tillage, brachiaria, aggregation indices, aggregates tensile strength, total organic carbon.

3.3 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD) é a principal alternativa de manejo sustentável do solo para o cultivo de grãos nas regiões tropicais. Trazendo benefícios para a qualidade do solo, em relação aos manejos que o mobilizam (SILVA et al., 2014). Porém, o SPD pode aumentar a compactação da camada superficial do solo (SECCO et al., 2009). Com isso, atualmente a intervenção mecânica, por meio de escarificação, vem sendo utilizada com intervalos frequentes, visando reduzir a compactação (FRANCHINI et al., 2012; SEIDEL et al., 2018).

Os efeitos da escarificação na estrutura do solo, no entanto, são efêmeros (VEIGA et al., 2007; MORAES et al., 2016). Desta forma, a escarificação é realizada frequentemente para manter o efeito sobre a estrutura do solo, ocasionando os mesmos problemas do plantio convencional, como a degradação de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (CALEGARI et al., 2006), além de ser uma prática onerosa.

Assim sendo, práticas culturais visando reduzir a compactação do solo são alternativas viáveis e sustentáveis, por proporcionar um rompimento uniforme da camada compactada, e contribuir para a agregação do solo (CAMARGO; ALLEONI, 1997). Na safra de verão, a soja (*Glycine max* L.) é a cultura mais utilizada por apresentar alta rentabilidade econômica. Desta forma, culturas para descompactar o solo poderiam ser usadas no outono-inverno, mas, nessa época vem sendo utilizado o milho de segunda safra para aumentar a renda do produtor (FRANCHINI et al., 2011). No entanto, a degradação da qualidade estrutural do solo no SPD tem se intensificado devido a adoção contínua da sucessão soja/milho de segunda safra (DEBIASI et al., 2015). O uso de diferentes culturas pode ser a melhor opção para integração do sistema e recuperação da qualidade estrutural do solo (FRANCHINI et al., 2011).

Uma das opções é a semeadura de forrageiras, como as braquiárias, pois essas possuem sistemas radiculares com alta capacidade de explorar o perfil do solo (CALONEGO et al., 2017), com potencial para reduzir a compactação (CALONEGO et al., 2011). Outra opção é a aveia preta, pois essa apresentou-se como bom material para melhorar as propriedades dos solos com compactação (MÜLLER; CECCON; ROSOLEM, 2001), contribuindo para manter sua qualidade estrutural em SPD (MERTEN et al., 2015). Por isso, estas culturas vêm sendo recomendadas como

alternativas na safra de outono-inverno, para melhorar a qualidade do solo em regiões tropicais. Embora se encontrem trabalhos mostrando os efeitos da braquiária e da aveia na qualidade dos solos, ainda faltam estudos que explorem a eficiência dessas culturas na descompactação do solo, principalmente em relação a culturas comerciais como o milho de segunda safra.

Portanto, as hipóteses do trabalho foram: que as plantas de cobertura melhoram a qualidade e estabilidade estrutural dos solos submetidos a compactação, em relação ao milho de segunda safra; o solo em plantio direto apresenta qualidade e estabilidade estrutural, equivalente ao escarificado, quatro anos após essa operação. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito de culturas de outono-inverno, na qualidade e estabilidade estrutural de um Latossolo Vermelho submetido a compactação, e ainda, o efeito da escarificação sobre esses atributos, após quatro anos da sua realização, em relação ao solo manejado sob plantio direto.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 Área Experimental

O experimento foi conduzido na estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (23°11' S; 51°11' W; 620 m de altitude), no município de Londrina PR, Brasil. O clima da área é Subtropical Úmido (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen-Geiger, com precipitação média anual de 1.651 mm, sendo, na média histórica, janeiro o mês mais úmido (217 mm) e agosto o mais seco (60 mm). A temperatura média anual é 18,7 °C, com média anual máxima de 32 °C em dezembro e média anual mínima de 14 °C em julho. O solo é um Latossolo Vermelho Distroférrico muito argiloso, de acordo com a classificação de Santos et al. (2013) ou Rhodic Ferralsol (IUSS, 2015), com 784 g kg⁻¹ de argila, 144 g kg⁻¹ de silte e 72 g kg⁻¹ de areia.

3.4.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi instalado em fevereiro de 2013. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com três repetições em parcelas subdivididas, compreendendo três culturas de outono-inverno nas parcelas e quatro manejos de solo nas subparcelas.

As culturas de outono-inverno nas parcelas foram: braquiária ruziziensis (*Urochloa ruziziensis*) (BR); milho de segunda safra (*Zea mays*) (MS); aveia preta (*Avena strigosa*) (AP). Os manejos de solo foram: Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio direto escarificado (ESC); Plantio Direto compactado com quatro passadas de colhedora (C4); Plantio Direto compactado com oito passadas de colhedora (C8).

As compactações adicionais foram realizadas em fevereiro de 2013, por uma colhedora com massa de 9,6 Mg, equipada com plataforma de colheita de milho (4 linhas) e depósito de grãos vazio, pneus dianteiros Pirelli 18.4-30 R1 e traseiros Pirelli 9.00-16. O tráfego foi realizado com conteúdo de água na camada de 0,00-0,20 m, equivalente à capacidade de campo do solo ($0,32 \text{ kg kg}^{-1}$). A escarificação também foi realizada em fevereiro de 2013, na condição de solo friável (conteúdo de água de $0,29 \text{ kg kg}^{-1}$), por meio de um escarificador equipado com rolo destorroador, cinco hastes espaçadas 0,35 m entre si e ponteiros de 0,08 m de largura, a uma profundidade média de trabalho de 0,30 m.

3.4.3 Condução do Experimento

Após a implantação, todo o experimento foi cultivado com trigo como cultura de outono-inverno, sendo as diferenças nos sistemas de culturas, a partir da safra de outono-inverno de 2014. Em todos os anos no verão, foi implantada a cultura da soja (*Glycine max* L.) em todos os tratamentos. O manejo de solo foi em semeadura direta, abrindo um sulco apenas na linha de semeadura, sobre os resíduos da cultura anterior.

A adubação no milho foi de acordo com os resultados das análises de solo e necessidade da cultura (270 kg ha^{-1} de NPK 08-20-20) em todas as safras. A aveia preta e a Braquiária não receberam adubação. A implantação, condução e

tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as indicações técnicas para cada cultura.

3.4.4 Procedimentos Amostrais

Em maio de 2014 e 2017 foram coletados em cada parcela, com o auxílio de uma pá reta, blocos de solo de 0,20x0,15x0,10 m (largura, espessura e profundidade, respectivamente), na camada de 0,00-0,10 m. Na coleta de 2014, determinou-se apenas a resistência tênsil (RT) e friabilidade (FR) dos agregados, na coleta de 2017 além da RT e FR, foram determinados: COT; granulometria; diâmetro médio ponderado (DMP); diâmetro médio geométrico (DMG); e, índice de estabilidade de agregados (IEA).

Para o processamento das amostras, após a coleta, foi aguardado 20 dias para homogeneização da umidade. Uma parte do bloco de solo foi retirada e peneirada em malha de 2 mm (TFSA) para determinação do COT e granulometria. Na outra parte do bloco, os agregados foram selecionados com o auxílio de peneiras metálicas com 19,0 e 12,5 mm de malha. Os agregados retidos entre as peneiras foram utilizados para determinar a RT e FR dos agregados. E, os agregados que passaram pela peneira de 12,5 mm foram utilizados para a determinação dos índices de agregação do solo: DMP; DMG; IEA.

3.4.5 Determinação dos Índices de Agregação

Para cada amostra, foi determinada a distribuição das classes de agregados por tamisamento a úmido, como proposto por Yoder et al. (1936) e adaptado por Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998). Após peneiradas (12,5 mm), houve a separação de quatro subamostras de 50 g cada (peso do solo seco ao ar), sendo uma para cada jogo de peneiras (três repetições de laboratório) e uma para determinar a umidade e calcular o peso da amostra seca. As amostras foram transferidas para o aparelho tamisador com oscilação vertical de 40 rpm, constituído de seis peneiras 8; 4; 2; 1; 0,5; 0,25 mm. As amostras foram colocadas sob um papel filtro, na peneira de 8 mm, durante 10 minutos para que o solo absorvesse a água, preservando as amostras contra o rompimento dos agregados. Retirou-se o papel filtro cuidadosamente e iniciou-se o processo de agitação vertical das peneiras durante 15

minutos. As peneiras foram transferidas para lavagem e retirada dos agregados retidos em cada uma. As amostras foram acondicionadas em latas de alumínio previamente identificadas e colocadas em estufa a 105 °C por 24 h, para secagem e posterior pesagem. A classe de agregado menor que 0,25 mm foi calculada subtraindo-se o somatório do peso total da amostra seca das outras classes. As médias dos valores obtidos foram usadas para o cálculo do DMP, DMG e IEA, por meio das fórmulas:

$$DMP (mm) = \sum_{i=1}^n (xi \cdot wi)$$

em que: xi = diâmetro médio das classes (mm); wi = proporção de cada classe em relação ao total.

$$DMG (mm) = EXP \left(\frac{\sum_{i=1}^n wp \cdot \log (xi)}{\sum_{i=1}^n wi} \right)$$

onde: wp = peso seco dos agregados de cada classe (g); xi = diâmetro médio das classes (mm).

$$IEA (\%) = \left(\frac{\text{Peso da amostra seca} - wp_{25} - \text{areia}}{\text{Peso da amostra seca} - \text{areia}} \right) \cdot 100$$

na qual: wp₂₅ = peso seco dos agregados da classe < 0.25 mm.

3.4.6 Determinação da Resistência Tênsil e Friabilidade dos Agregados

Para a avaliação da resistência tênsil (RT), foram utilizados 50 agregados de cada amostra. Após peneiradas, cada agregado foi pesado e depois submetido a uma tensão direta até sua ruptura. Para isso, cada agregado foi colocado em sua posição mais estável entre duas placas metálicas (uma móvel e outra fixa). A placa móvel (22 mm de diâmetro) foi adaptada a um penetrômetro de bancada da marca Marconi®, regulado para proporcionar uma velocidade de 0,03 mm s⁻¹ à placa, possibilitando a medição da força necessária à ruptura do agregado. Após a realização dos testes, todos os agregados analisados foram pesados, secos em estufa a 105 °C e, em seguida, pesados novamente, para determinação da umidade residual.

A RT, conforme Dexter e Kroebergen (1985), foi calculada pela seguinte formula:

$$RT (kPa) = 0,576 \left(\frac{P}{D^2} \right)$$

sendo, RT a resistência tênsil (kPa), 0,576 o coeficiente de proporcionalidade, resultante da relação entre a carga compressiva aplicada e o estresse tênsil gerado no interior do agregado, P a força necessária para a ruptura tênsil do agregado (N) e D o diâmetro efetivo (mm).

O diâmetro efetivo (D), conforme Dexter e Kroesbergen (1985), foi calculado pela seguinte formula:

$$D (mm) = Dm \left(\frac{M}{M_0} \right)^{\frac{1}{3}}$$

em que, M é a massa do agregado individual (g), M_0 a massa média dos agregados em cada tratamento (g), Dm o diâmetro médio dos agregados (mm), definido pela média dos tamanhos das peneiras utilizadas para selecionar os agregados:

$$Dm (mm) = \left(\frac{12,5 + 19,0}{2} \right)$$

A friabilidade (FR) do solo foi estimada pelo método do coeficiente de variação proposto por Watts e Dexter (1998). Neste método os valores da FR do solo são obtidos através do coeficiente de variação dos valores medidos de RT dos agregados em cada tratamento:

$$FR (adimensional) = \left(\frac{\sigma_y}{Y} \right) \pm \left(\frac{\sigma_y}{Y\sqrt{2n}} \right)$$

sendo, FR a friabilidade do solo (Adimensional), σ_y o desvio-padrão dos valores medidos da RT, Y a média dos valores medidos de RT, n o número de repetições. O segundo termo é o erro-padrão do coeficiente de variação.

3.4.7 Determinação do Carbono Orgânico Total e Granulometria

O carbono orgânico total foi determinado pelo método descrito por Walkley e Black (1932), com oxidação pelo $K_2Cr_2O_7$ e titulado com $FeSO_4$. Em que, se adiciona 10 ml de dicromato de potássio e 10 ml de ácido sulfúrico em 0.5 g de solo (TFSA). Após 30 minutos adiciona-se 50 ml de água destilada e 3 ml de ácido fosfórico. Titula-se com sulfato ferroso, utilizando 0,5 ml de difinilamina como indicador.

A granulometria foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Claessen (1997), com 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) utilizando-se o método da pipeta com agitação lenta (180 rpm) por 16 h e NaOH ($0,1 \text{ mol L}^{-1}$) como dispersante químico.

3.4.8 Procedimentos Estatísticos

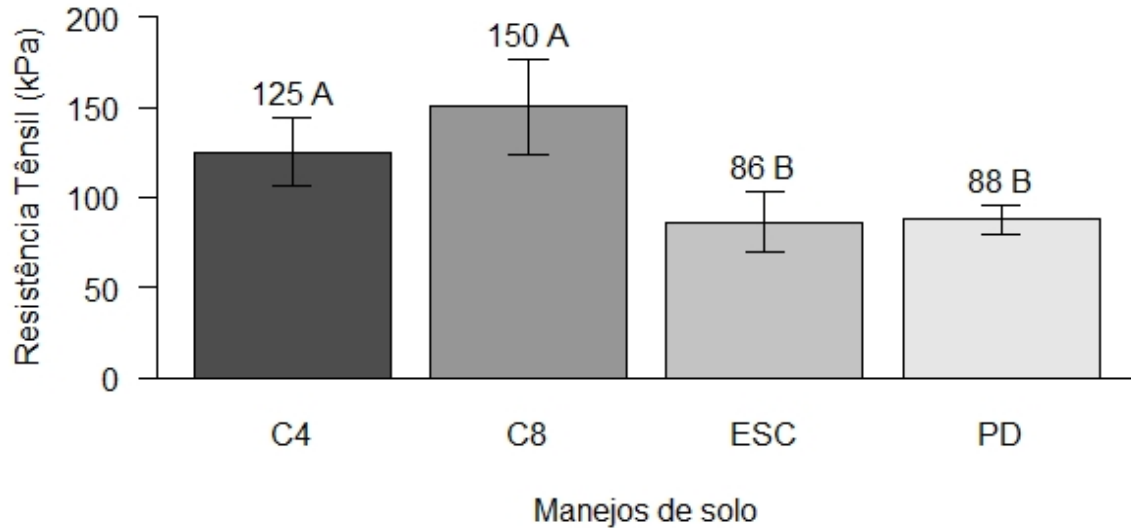
Depois de determinar a homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos com os testes de Bartlett e Shapiro – Wilk, respectivamente, os dados foram submetidos à análise de variância (ANAVA), utilizando-se o delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas. Quando apresentado P-valor estatisticamente significativo ($P < 0,05$), os dados foram submetidos ao teste Tukey com 5% de probabilidade para observar as diferenças entre as médias dos tratamentos. Também foram realizadas regressões lineares entre os atributos: DMP, DMG, IEA, RT e FR com os valores de COT. Todas as análises foram realizadas usando o software R. O pacote utilizado foi “ExpDes.pt”.

3.5 RESULTADOS

Para os resultados de resistência tênsil (RT) da primeira coleta (2014), realizada antes da implantação das diferentes culturas, em que a diferença entre os tratamentos era somente os manejos do solo, foi possível observar que os tratamentos compactados, apresentaram valores iguais estatisticamente e maiores que os demais tratamentos (Figura 3.1). Evidenciando que a quantidade de passagens de colhedora compactando o solo não influenciou esse atributo do solo. Os tratamentos plantio direto (PD) e plantio direto escarificado (ESC) apresentaram valores de RT que não

diferiram estatisticamente, não havendo efeito da escarificação (após 15 meses) sobre este atributo (Figura 3.1).

Figura 3.1. Resistência tênsil dos agregados após implantação do experimento.



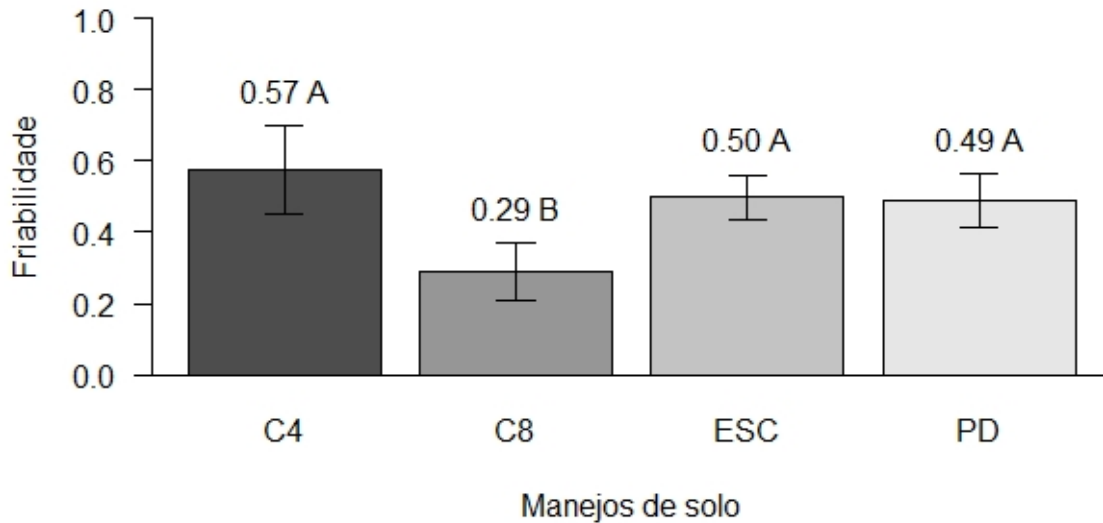
Fonte: o próprio autor

Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio direto escarificado (ESC); Plantio Direto compactado com 4 passadas de colhedora (C4); Plantio Direto compactado com 8 passadas de colhedora (C8).

Para os valores de friabilidade (FR) da primeira coleta (2014) foi possível observar que, o tratamento C8 apresentou os menores valores, não havendo diferenças entre os outros tratamentos (Figura 3.2). A quantidade de passagens da colhedora compactando o solo influenciou este atributo, proporcionando diferenças entre os tratamentos C8 e C4. A quantidade de passagens de colhedora no tratamento C4 não foi o suficiente para proporcionar diferenças em relação aos tratamentos PD e ESC. Assim como, para os valores de RT, a escarificação não influenciou este atributo, no qual os valores do PD foram iguais aos do ESC (Figura 3.2).

Figura 3.2. Friabilidade dos agregados após implantação do experimento.



Fonte: o próprio autor

Letras iguais não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio direto escarificado (ESC); Plantio Direto compactado com 4 passadas de colhedora (C4); Plantio Direto compactado com 8 passadas de colhedora (C8).

Para os resultados das análises da segunda coleta, em que além dos manejos também havia diferentes culturas (Tabela 3.1), foi possível observar para a RT, interação entre os manejos e as culturas. Para os manejos de solo, quando utilizado as culturas AP e BR, o manejo C8 apresentou os maiores valores, não havendo diferença entre os outros tratamentos. Quando utilizado o MS, os manejos C8 e C4 apresentaram os maiores valores, diferindo dos demais tratamentos, sendo PD e ESC, estatisticamente iguais (Tabela 3.1).

Para os sistemas de culturas houve diferenças apenas no manejo C4, em que as culturas aveia preta (AP) e braquiária (BR) apresentaram menores valores que o milho de segunda safra (MS). Os sistemas de culturas têm comportamento iguais quando o solo foi mobilizado (ESC), quando não houve preparo do solo (PD) e quando a compactação foi maior (C8) (Tabela 3.1). Importante salientar que, não houve efeito da escarificação. As culturas empregadas neste trabalho não conseguiram reverter a compactação ocasionada no tratamento C8, sendo que o MS também não reverteu a do manejo (C4).

Tabela 3.1. Resistência tênsil, friabilidade e carbono orgânico total nos sistemas de culturas e manejos de solo, na camada 0,00-0,10 m.

Manejo de solo	Sistema de cultura		
	Aveia	Braquiária	Milho
Resistência tênsil (Kpa)			
PD	98,50 Ba	103,31 Ba	102,01 Ba
ESC	76,54 Ba	99,99 Ba	87,04 Ba
C4	78,65 Bb	101,22 Bb	131,51 Aa
C8	129,55 Aa	135,84 Aa	136,46 Aa
Friabilidade (Adimensional)			
PD	0,49 Aa	0,54 Aa	0,50 Aa
ESC	0,65 Aa	0,59 Aa	0,75 Aa
C4	0,59 Aa	0,48 Aa	0,51 Aa
C8	0,56 Aa	0,53 Aa	0,68 Aa
Carbono orgânico total (g kg ⁻¹)			
PD	20,06 Ba	21,34 Bab	20,57 Bb
ESC	20,31 Ca	16,97 Cab	14,91 Cb
C4	24,43 Aa	23,66 Aab	24,43 Ab
C8	28,28 Aa	21,60 Aab	20,83 Ab

Fonte: o próprio autor.

Letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio direto escarificado (ESC); Plantio Direto compactado com 4 passadas de colhedora (C4); Plantio Direto compactado com 8 passadas de colhedora (C8).

Para os valores FR da segunda coleta, não foi possível observar diferenças significativas entre os tratamentos (Tabela 3.1), não havendo efeitos tanto das culturas quanto dos manejos de solo.

Para os valores de carbono orgânico total (COT) da segunda coleta (2017) (Tabela 3.1), foi possível observar que não houve interação entre os manejos de solo e sistemas de culturas. Para os manejos de solo, os tratamentos C4 e C8 apresentaram os maiores valores, o ESC os menores e o PD valores intermediários. Para os sistemas de culturas, a AP apresentou os maiores valores e o MS os menores, a BR valores intermediários, sendo igual estatisticamente aos outros tratamentos (Tabela 3.1).

Para os índices de agregação do solo avaliado na segunda coleta (2017) (Tabela 3.2), foi possível observar que para o diâmetro médio ponderado (DMP) e para diâmetro médio geométrico (DMG), não houve diferenças significativas entre os tratamentos, não havendo efeitos tanto das culturas quanto dos manejos de solo. Para o índice de estabilidade dos agregados (IEA), foi possível observar que não houve interação entre os manejos de solo e sistemas de culturas. Para os manejos de solo, o tratamento ESC apresentou os menores valores, não havendo diferenças entre

os demais tratamentos. Para os sistemas de culturas, o MS apresentou os menores valores, não havendo diferenças entre os tratamentos AP e BR.

Tabela 3.2. Índices de agregação do solo dos sistemas de culturas e manejos de solo, na camada 0,00-0,10 m.

Manejo de solo	Sistema de culturas		
	Aveia	Braquiária	Milho
Diâmetro médio ponderado (mm)			
PD	3,84 Aa	4,35 Aa	4,53 Aa
ESC	3,52 Aa	3,76 Aa	2,85 Aa
C4	4,91 Aa	4,09 Aa	4,30 Aa
C8	4,61 Aa	4,40 Aa	3,90 Aa
Diâmetro médio geométrico (mm)			
PD	1,24 Aa	1,27 Aa	1,30 Aa
ESC	1,19 Aa	1,16 Aa	1,03 Aa
C4	1,38 Aa	1,23 Aa	1,24 Aa
C8	1,39 Aa	1,31 Aa	1,22 Aa
Índice de estabilidade dos agregados (%)			
PD	89,11 Aa	88,01 Aa	86,67 Ab
ESC	88,15 Ba	84,80 Ba	81,58 Bb
C4	90,20 Aa	87,94 Aa	85,75 Ab
C8	91,85 Aa	89,60 Aa	84,92 Ab

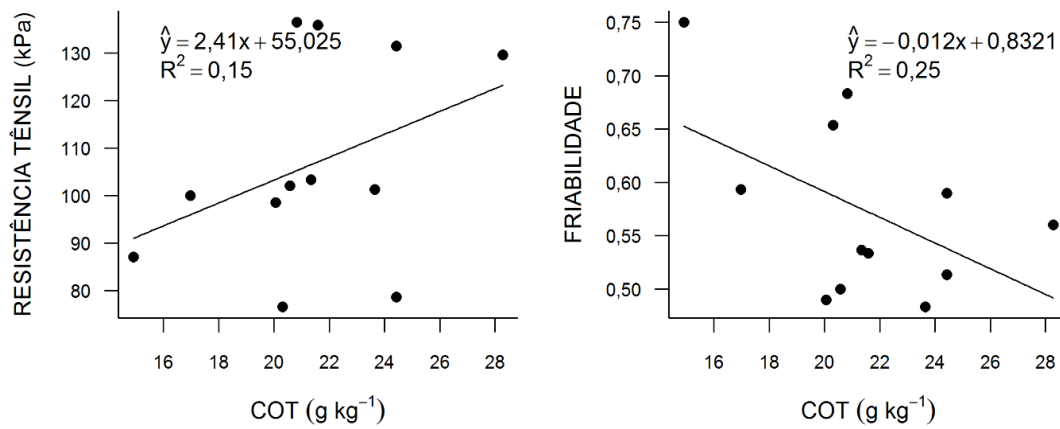
Fonte: o próprio autor.

Letras iguais, minúsculas na linha e maiúsculas na coluna, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto sem compactação adicional (PD); Plantio direto escarificado (ESC); Plantio Direto compactado com 4 passadas de colhedora (C4); Plantio Direto compactado com 8 passadas de colhedora (C8).

Foram realizadas regressões para observar a influência do COT sobre os atributos RT e FR (Figura 3.3). Embora as regressões mostrem que o aumento dos teores de COT tendem a aumentar a RT e diminuir a FR, os efeitos do COT sobre estes atributos não foram significativos, com R^2 próximos de 0,20 (Figura 3.3), com ambas as regressões apresentando p -valor maior que 0,05.

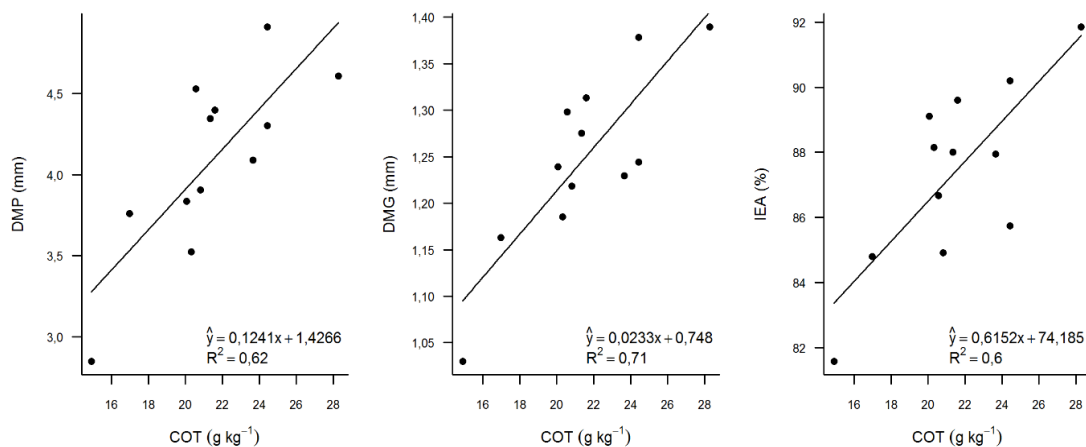
Figura 3.3. Resistência tênsil e friabilidade dos agregados em função dos teores de carbono orgânico total (COT).



Fonte: o próprio autor.

Também foram realizadas regressões para observar a influência do COT sobre os atributos DMP, DMG e IEA (Figura 3.4), em que foi possível observar que o aumento do teor de COT proporciona aumento dos três índices de agregação do solo. A relação com o DMG apresentou o maior valor de R^2 e com o DMP e IEA valores de R^2 semelhantes, os efeitos do COT foram significativos para as três regressões, com p -valor menor que 0,05.

Figura 3.4. Índices de agregação: Diâmetro médio ponderado (DMP); Diâmetro médio geométrico (DMG); Índice de estabilidade dos agregados (IEA), em função dos teores de carbono orgânico total (COT).



Fonte: o próprio autor.

3.6 DISCUSSÃO

A hipótese do trabalho de que as culturas de cobertura proporcionariam melhorias na qualidade e estabilidade estrutural dos solos submetidos a compactação, em relação ao milho de segunda safra foi corroborada. Porém, não por todos os atributos avaliados.

Nas avaliações realizadas após a implantação dos diferentes manejos e antes da implantação das culturas, foi possível observar que maiores valores de RT foram obtidos nos manejos C8 e C4, comprovando a eficácia da compactação induzida. Para os valores de FR foi observado que apenas o manejo C8 apresentou os menores valores. Mostrando que este atributo é menos sensível as variações do manejo que a RT, como observado por outros autores (TORMENA et al., 2008; BAVOSO et al., 2010).

Tendo esses resultados da primeira coleta como base, quando se observa os resultados da segunda coleta, em que além dos diferentes manejos de solo, também havia diferentes sistemas de culturas, os maiores valores de RT no manejo C8 em relação aos manejos ESC e PD, mostram que a utilização destas culturas, não foram suficientes para reverter a compactação ocasionada neste manejo. Com isso, pode-se inferir que em solos com altos níveis de compactação, o uso apenas da sucessão de culturas não é suficiente para reverter a compactação, no tempo utilizado neste experimento. Segundo Ferreira et al, (2011), o SPD, com elevado aporte de resíduos, associado à rotação de culturas com espécies de diversificado sistema radicular são fatores que reduzem a RT. Possivelmente, para reverter os níveis maiores de compactação com apenas sucessão de culturas seria necessário um tempo maior que o deste trabalho.

Quando utilizado o MS os manejos C8 e C4 apresentaram maiores valores de RT em relação aos manejos PD e ESC, diferente do observado com AP e BR, em que apenas o C8 apresentou os maiores valores. Pode-se observar que a média de RT do manejo C4 da primeira coleta é de 125 Kpa, na segunda coleta o mesmo manejo com MS apresenta média de 131,51 Kpa, enquanto para as culturas AP e BR reduziram a RT para 78,65 e 101,22, respectivamente. Com isso, além de não reverter a compactação do manejo C8, como ocorreu com as outras duas culturas, também não reverteu a do manejo com menores níveis de compactação.

Para este trabalho não houve efeito do COT sobre a RT, fato também observado por Tormena et al, (2008). A falta de influência do COT sobre a RT sugere que outros fatores estão influenciando este atributo do solo, e, possivelmente um desses fatores seria os ciclos de secagem e umedecimento (KAY; DEXTER, 1992).

As culturas AP e BR, proporcionaram cobertura de solo maior, mais homogênea e por período de tempo maior que o MS. Pois, neste experimento, o MS era colhido, já a AP e BR eram apenas dessecadas. O mecanismo de colheita aumenta a superfície de contato da palha do MS aumentando sua velocidade de degradação. Há também o fato de grande quantidade da massa seca do MS ser composta por colmo, deixando o solo exposto por um período maior de tempo. Ainda, neste experimento o MS foi semeado com espaçamento de 0,90 m e a AP e a BR com 0,17 m, com isso maior tempo para fechamento do dossel. Assim, pode-se concluir que o tratamento MS apresenta ciclos de umedecimento e secagem mais intensos que os tratamentos com AP e BR.

O aumento nos valores da RT é promovido pela cimentação das microfraturas por meio das argilas, no período de secagem do solo (KAY; DEXTER, 1992). Pois, quanto mais intensa for a secagem do solo maior será a RT (MUNKHOLM; KAY, 2002), sendo esse efeito diretamente relacionado com os intervalos entre as chuvas. Quanto menor a frequência de chuvas, proporcionando ciclos de umedecimento e secagem mais intensos, maior será a RT (KAY; DEXTER 1992). Como os tratamentos se encontravam na mesma área, o intervalo entre as chuvas era o mesmo para todos os tratamentos. Assim, a maior intensidade de secagem está relacionada com a maior ou menor exposição do solo, proporcionado perda de água por evaporação e transpiração, proporcionada pelas diferentes culturas. Portanto, como AP e BR proporcionaram menor exposição do solo, conseqüentemente os ciclos de secagem e umedecimento são menos intensos, proporcionando aos agregados menor cimentação e, com isso menores valores de RT.

Outro fator, que está condizente com os resultados de RT apresentado nesse trabalho seria a influência das raízes. A melhor eficiência da AP e BR em reduzir a RT em relação ao MS, na camada superficial, pode estar relacionado com a maior quantidade de raiz que estas culturas apresentam em relação ao MS (BERTOLLO et al., 2015). A maior quantidade de raízes na camada superficial, proporciona maiores quantidades de microfissuras nos agregados influenciando na

sua reestruturação física e diminuição da RT (STUMPF et al., 2016). Guimarães et al. (2009) observaram que, plantas com sistema radicular agressivo e crescimento contínuo, pode contribuir para redução da RT.

Para os resultados de FR, não foi possível observar diferenças entre os tratamentos. Na primeira coleta o manejo C8 apresentou menores valores de FR. Para a segunda avaliação, as culturas poderiam interagir de formas distintas com os manejos, em relação a este atributo, porém, não foi observado diferenças entre os tratamentos. Os valores de FR para os manejos C4, ESC e PD permaneceram semelhantes aos da primeira coleta, independente da cultura utilizada, e os valores para o manejo C8 aumentaram, independente da cultura, se igualando aos dos outros tratamentos. Os valores iguais de FR entre os tratamentos pode estar relacionado com o fato deste atributo ser menos sensível às variações dos manejos e das culturas que a RT (TORMENA et al., 2008).

Em relação aos índices de agregação do solo, os valores de DMG e DMP não diferiram entre os sistemas de culturas. Os sistemas de culturas apresentaram diferenças nos teores de COT (Tabela 3.1), esse atributo está influenciando o DMP e DMG (Figura 3.4), com isso os sistemas de culturas deveriam apresentar diferenças em relação a estes atributos. Pois o COT é um dos principais agentes de agregação das partículas do solo (SALTON et al., 2008), principalmente na superfície (VASCONCELOS et al., 2010). Porém não foi possível observar diferenças em relação a estes atributos nesse trabalho.

Foi possível observar que as culturas de cobertura AP e BR apresentaram maiores valores de IEA em relação ao MS. De acordo com a regressão entre o COT e o IEA (Figura 3.4), o incremento nos teores de COT aumentaram os valores de IEA. O sistema de cultura AP, por apresentar maiores valores de COT em relação ao MS, apresentaram maiores valores de IEA. Pois, a agregação do solo é condicionada por substâncias agregantes como a matéria orgânica, com ação cimentante e aglutinadora (MIELNICZUK, 1999). O COT permite a formação de pontes orgânicas entre as partículas minerais (LEE et al., 2012), além de reduzir sua molhabilidade (CHENU; LE BISSONNAIS; ARROUAYS, 2000), o que eleva a estabilidade de agregados.

O sistema de cultura BR também apresentou valores de IEA maiores que o MS, mesmo com valores semelhantes de COT. Embora a regressão mostre que os maiores valores de IEA da BR estão relacionados com os valores de COT, esse

resultado sugere que outros atributos estão atuando em conjunto com a MO para aumentar a estabilidade dos agregados. Pois, segundo Castro Filho, Muzilli e Podanoschi (1998) as alterações na agregação não dependem apenas da MO, mas de sua interação com outros atributos do solo, como a natureza e poder de floculação dos cátions, ácidos orgânicos e seus respectivos valores de pKa, interação de cátions, argila e MO humificada, atividade microbiológica e tipo de microrganismos.

A hipótese do trabalho de que o solo em plantio direto apresenta qualidade e estabilidade estrutural, equivalente ao escarificado, quatro anos após essa operação, além de ser corroborada mostrando que o manejo ESC não melhorou a qualidade e a estabilidade estrutural do solo, mostrou que a escarificação pode degradar algumas propriedades do solo.

Os atributos RT e FR no manejo de solo ESC não foram melhores em relação ao manejo PD já na primeira coleta. Embora a escarificação seja capaz de melhorar os atributos físicos e estruturais do manejo PD, logo após a operação (MORAES et al., 2016). Assim como observado por Seidel et al. (2018), em que a escarificação aumentou a macroporosidade, em relação ao manejo PD, após uma safra de soja, atributo esse que está diretamente relacionado com a RT e FR (TORMENA; FIDALSKI; ROSSI JUNIOR, 2008). Para este trabalho, no entanto, não foi possível observar diferenças entre os tratamentos, mostrando que os efeitos da escarificação sobre a RT foram efêmeros (TORMENA et al., 2008). Na segunda coleta, o manejo ESC também apresentou valores de RT e FR semelhantes aos do manejo PD, ratificando que os efeitos da escarificação são momentâneos (MORAES et al., 2016).

Em relação aos atributos DMP e DMG, não houve melhorias com a escarificação, em que o PD e ESC apresentaram valores que não diferiram. Para o IEA, o manejo ESC proporcionou redução nos seus valores em relação ao PD. Os menores valores desse atributo no ESC em relação ao PD estão relacionados com os teores de COT. Os maiores valores de COT no PD estão associados à mínima mobilização do solo nesse manejo, que eleva o acúmulo de resíduos vegetais em superfície e reduz a exposição da MO, reduzindo sua decomposição (BAYER et al., 2000). A MO, por ter ação cimentante e aglutinadora, permite a formação de pontes orgânicas entre as partículas minerais e eleva a estabilidade dos agregados. A redução na estabilidade dos agregados proporciona menor resistência ao impacto de gotas de chuva e araste de partículas, podendo acarretar em problemas com erosão.

Também foi possível observar nesse trabalho que, a mobilização do solo pela escarificação é mais prejudicial em relação ao COT, e aos atributos que são influenciados pelos seus teores, que a compactação do solo, pois os solos compactados apresentaram maiores valores desse atributo que o manejo ESC. Sugerindo que os microrganismos atuaram menos nos agregados compactados (BEYLICH et al., 2018), provavelmente devido a menor oxigenação nesses solos. A mobilização, ao contrário, aumenta a oxigenação e acelera as perdas de COT pela oxidação da MO (MENDONÇA; ROWELL, 1994).

3.7 CONCLUSÕES

As culturas de cobertura, aveia preta e braquiária, apresentam melhorias na qualidade e estabilidade estrutural do solo em relação ao milho de segunda safra, sendo uma alternativa para reduzir a compactação e melhorar a agregação do solo, sem a necessidade de sua mobilização. Entretanto, quando em níveis maiores de compactação, as culturas de outono-inverno em sucessão de culturas, não são eficientes em curto período de tempo.

A escarificação não é eficiente em melhorar a qualidade e estabilidade estrutural do solo. Além de não melhorar a qualidade, reduz sua estabilidade estrutural pela redução nos teores de carbono orgânico total, proporcionado pela mobilização do solo. Podendo ser considerada mais prejudicial que a compactação do solo.

Os atributos resistência tênsil dos agregados, índice de estabilidade dos agregados e carbono orgânico total são os atributos mais sensíveis às variações proporcionadas pelos diferentes sistemas de cultura e manejos de solo que o diâmetro médio ponderado, diâmetro médio geométrico e friabilidade dos agregados.

4 ARTIGO B: DISPERSÃO DE ARGILA E QUALIDADE DA MATÉRIA ORGÂNICA DE UM LATOSSOLO VERMELHO SOB PLANTIO DIRETO E PLANTIO DIRETO ESCARIFICADO COM DIFERENTES CULTURAS DE OUTONO-INVERNO

4.1 RESUMO

Encontrar alternativas que melhorem a microestrutura do solo e a qualidade da matéria orgânica é fundamental para uma agricultura conservacionista. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das culturas de outono-inverno e da escarificação na estabilidade da microestrutura e na qualidade da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho distroférico, e ainda, a interação entre esses atributos e a relação deles com os atributos químicos do solo. Foram avaliadas quatro culturas de outono-inverno: Milho de segunda safra (*Zea mays* L.); Trigo (*Triticum aestivum*); Braquiária (*Urochloa brizantha*); Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb.) em dois manejos de solo: Plantio Direto (PD); Plantio Direto Escarificado (ESC). As análises realizadas foram: argila mecanicamente dispersa em água (AMDA), argila espontaneamente dispersa em água (AEDA), fracionamento químico da matéria orgânica: ácidos fúlvicos (AF); ácidos húmicos (AH); humina (HU) e os atributos químicos do solo. As culturas de outono-inverno não influenciam a microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo em curto período de tempo. Os efeitos da escarificação não estão presentes, depois de quatro anos, em relação a microestrutura e qualidade da matéria orgânica. O aumento nos valores de AMDA está relacionado ao aumento nos teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e $pH_{(H_2O)}$, assim como a redução está relacionada com o aumento nos teores de Al^{3+} e $H+Al$. Em contrapartida, a AEDA não é influenciada pelos atributos químicos do solo. As HU são as substâncias húmicas que mais influenciam os cátions, aumentando os valores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e redução dos valores de Al^{3+} e $H+Al$. Os AH apresentam menor influência, com redução nos valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumento dos teores de $H+Al$ e Al^{3+} . Não verificou-se influência dos AF nos atributos químicos. Também não foi encontrada influência das substâncias húmicas na microestrutura do solo.

Palavras-chave: Braquiária, argila espontaneamente dispersa em água, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas.

CLAY DISPERSION AND QUALITY OF THE ORGANIC MATTER OF A RHODIC FERRALSOL UNDER NO-TILLAGE AND CHISELED NO-TILLAGE WITH DIFFERENT AUTUMN-WINTER CROPS

4.2 ABSTRACT

Finding alternatives that improve the soil microstructure and quality of the organic matter is fundamental for conservation agriculture. The objective of the work were to evaluate the effect of autumn-winter crops and chiseling on the stability of the microstructure and in quality of the organic matter of a Rhodic Ferralsol, and still, the interaction between these attributes and their relationship with the chemical attributes of the soil. Four autumn-winter crops were evaluated: Second crop corn (*Zea mays* L.) (MS); Wheat (*Triticum aestivum*) (TR); Brachiaria (*Urochloa brizantha*) (BR); Black Oats (*Avena strigosa* Schreb.) (AP) in two soil managements: No-Tillage (PD); Chiseled no-tillage (ESC). The analyzes performed were: mechanically water-dispersible clay (AMDA), spontaneously water-dispersible clay (AEDA), chemical fractionation of organic matter: fulvic acids (AF); humic acids (AH); humin (HU) and the chemical attributes of the soil. Autumn-winter crops do not influence the microstructure and the quality of soil organic matter in a short period of time. The effects of the cheseling are not present, after four years, in relation to the microstructure and quality of organic matter. The increase in AMDA values is related to the increase in the contents of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and $pH_{(H_2O)}$, as well as the reduction is related to the increase in the contents of Al^{3+} and H+Al. In contrast, AEDA is not influenced by the chemical attributes of the soil. HU are the humic substances that most influence the cation, increase in the values of K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} and reducing the values of Al^{3+} and H+Al. The AH have less influence, reducing the values of Ca^{+2} and Mg^{2+} and increasing the levels of Al^{3+} and H+Al. There is no influence of the AF in chemical attributes. Also there is no influence of humic substances in soil microstructure.

Keywords: Brachiaria, spontaneously water-dispersed clay, humic acids, fulvic acids, humin.

4.3 INTRODUÇÃO

O Sistema Plantio Direto (SPD) traz benefícios para a qualidade do solo, em relação aos manejos com mobilização (SILVA et al., 2014). No entanto, pode apresentar aumento de compactação do solo na camada superficial (SECCO et al., 2009), pois atualmente, sistemas de culturas com pouca diversidade, baixa cobertura do solo e tráfego de máquinas pesadas em solo com excesso de umidade, são alguns fatores que agravam a compactação do solo em SPD. Com isso, a escarificação com intervalos frequentes vem sendo utilizada para reduzir este problema (FRANCHINI et al., 2012), assim como, tem-se buscado alternativas culturais para a remediação da compactação.

Os efeitos da escarificação e dos sistemas de culturas sobre os atributos do solo, no entanto, não estão afetando a macroestrutura e os teores de carbono orgânico total (COT). Silva et al. (2014) observaram que após 22 anos, o solo escarificado a cada três anos apresentou os mesmos valores de COT e qualidade estrutural que o solo em SPD, e também não houve diferenças entre os sistemas de rotação e sucessão de culturas. Do mesmo modo, Moraes et al. (2016) não observaram diferenças entre a rotação e sucessão de culturas, em relação à macroestrutura do solo. Havendo a possibilidade destas práticas estarem alterando apenas a microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo.

Para avaliar a estabilidade da microestrutura, a dispersão de argila é a metodologia mais utilizada, por ser sensível as variações de manejos, e ter relação direta com o comportamento da dupla camada elétrica, com a interação mineral e matéria orgânica, com os teores de cátions e microrganismos (ASSOULINE; TAVARES FILHO; TESSIER, 1997). A qualidade da matéria orgânica do solo pode ser verificada pelo seu fracionamento químico, que consiste em separar as frações por meio das diferenças de solubilidade, em solução ácida ou alcalina (CANELLAS et al., 2001), obtendo três frações, ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU), relacionadas com a estrutura e capacidade de troca de cátions do solo (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

Assim, a hipótese do trabalho é que a escarificação e as culturas alteram a estabilidade da microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo. Com isso, o objetivo do trabalho foi avaliar o efeito das culturas de outono-inverno e da escarificação na estabilidade da microestrutura e na qualidade da matéria orgânica

de um Latossolo Vermelho distroférico, e ainda, a interação entre esses atributos e a relação deles com os atributos químicos do solo.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

4.4.1 Área Experimental

O experimento foi conduzido na estação experimental da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Centro Nacional de Pesquisa de Soja (23°11' S; 51°11' W; 620 m de altitude), no município de Londrina-PR, Brasil. O clima da área é Subtropical Úmido (Cfa) de acordo com a classificação de KÖEPPEN-GEIGER. A precipitação média anual é de 1.651 mm, sendo, na média histórica, janeiro o mês mais úmido (217 mm) e agosto o mais seco (60 mm). A temperatura média anual é 18,7 °C, com média anual máxima de 32 °C em dezembro e média anual mínima de 14 °C em julho. O experimento foi instalado em um Latossolo Vermelho distroférico muito argiloso de acordo com a classificação de Santos et al. (2013) ou Rhodic Ferralsol (IUSS, 2015), com 784 g kg⁻¹ de argila, 144 g kg⁻¹ de silte e 72 g kg⁻¹ de areia.

4.4.2 Delineamento Experimental e Tratamentos

O experimento foi instalado em fevereiro de 2013. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, com três repetições, compreendendo quatro culturas de outono-inverno nas parcelas e dois manejos de solo nas subparcelas.

As culturas de outono-inverno nas parcelas foram: Milho de segunda safra (*Zea mays* L.) - MS; Trigo (*Triticum aestivum*) - TR; Braquiária (*Urochloa ruziziensis*) - BR; Aveia Preta (*Avena strigosa* Schreb.) - AP. Os manejos de solo foram: Plantio Direto (PD); Plantio direto escarificado (ESC). A escarificação foi realizada em fevereiro de 2013, na condição de solo friável (conteúdo de água de 0,29 kg kg⁻¹), por meio de um escarificador equipado com rolo destorroador, cinco hastes espaçadas 0,35 m entre si e ponteiros de 0,08 m de largura, trabalhando a uma profundidade média de 0,30 m.

4.4.3 Condução do Experimento

Após a implantação, todo o experimento foi cultivado com trigo como cultura de outono-inverno, sendo as diferenças nos sistemas de culturas, a partir da safra de outono-inverno de 2014. Em todos os anos no verão foi implantada a cultura da soja (*Glycine max* L.) em todos os tratamentos. O manejo de solo foi em semeadura direta, abrindo um sulco apenas na linha de semeadura, sobre os resíduos da cultura anterior.

O milho e o trigo foram adubados, de acordo com os resultados das análises de solo e necessidades das culturas (270 kg ha⁻¹ de NPK 08-20-20), em todas as safras. A aveia preta e a braquiária não receberam adubação. A implantação, condução e tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com as indicações técnicas para cada cultura.

4.4.4 Procedimentos Amostrais

Em maio de 2017, após a colheita da soja, as amostras de solo foram coletadas, nas camadas 0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m, no momento em que o experimento apresentava quatro anos. As amostras foram processadas após secagem natural, sendo peneiradas à 2 mm (TFSA). Posteriormente, foram realizadas as análises de granulometria, argila mecanicamente dispersa em água (AMDA), argila espontaneamente dispersa em água (AEDA), fracionamento da matéria orgânica (ácido fúlvico, ácido húmico e humina) e análises químicas do solo.

4.4.5 Granulometria e Argila Mecanicamente Dispersa em Água

A granulometria foi determinada de acordo com Claessen (1997), com 20 g de terra fina seca em estufa (TFSE) utilizando-se o método da pipeta com agitação lenta (180 rpm) por 16 horas e NaOH 1 mol L⁻¹ como dispersante químico. A argila mecanicamente dispersa em água, determinada pelo mesmo processo que se avalia a granulometria, mas sem uso do NaOH, e com somente 1 hora de agitação.

4.4.6 Argila Espontaneamente Dispersa em Água

Para análise da argila espontaneamente dispersa em água (AEDA), o protocolo apresentado em Rengasamy (2002) foi aplicado. Realizado com 10 g de solo (TFSE) e 100 ml de água destilada, com relação solo: água (1:10 m:v). A quantificação das partículas em suspensão foi realizada por espectrofotometria a 420 nm, previamente calibrada. A calibração foi baseada em medidas gravimétricas de partículas suspensas e apresentou $R^2 > 0,97$. O tempo de sedimentação para extrair a fração argila ($\varnothing < 0,002$ mm) foi baseado na lei de Stoke, obtida após 4 horas de sedimentação, a 5 cm de profundidade.

4.4.7 Análises Químicas do Solo

Os atributos químicos (Tabela 4.1), foram determinados segundo Pavan et al. (1992). Foram analisados: $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$; $\text{pH}_{(\text{KCl})}$; acidez trocável (Al^{3+}) em KCl (1 mol.L^{-1}) por titulação com NaOH ($0,01 \text{ mol.L}^{-1}$); acidez potencial (H+Al) por SMP; cálcio trocável (Ca^{2+}) e magnésio trocável (Mg^{2+}) extraídos por KCl 1 mol.L^{-1} e titulados por EDTA; fósforo disponível (P) e potássio trocável (K^+) por extração com Mehlich-1 e leitura em espectrofotômetro a 630 nm e em fotômetro de chama, respectivamente; ΔpH calculado pela fórmula: $\Delta\text{pH} = (\text{pH}_{(\text{KCl})} (1 \text{ mol L}^{-1}) - \text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})})$ (Tabela 4.1).

Tabela 4.1: Caracterização química dos diferentes manejos de solo e sistemas de culturas nas diferentes camadas avaliadas.

Sistemas de culturas	Manejos de solo	P	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	pH	ΔpH
		mg kg ⁻¹	-----cmol _{c.} kg ⁻¹ -----					H ₂ O	
Camada 0,00-0,05 m									
BR	PD	14,90	0,79	4,17	1,73	0,10	5,24	5,94	-1,11
	ESC	13,83	0,77	3,60	1,57	0,12	5,62	5,43	-0,93
MS	PD	14,12	0,81	4,11	1,68	0,09	5,13	5,99	-0,86
	ESC	12,46	0,71	2,75	1,09	0,23	6,37	5,19	-0,79
TR	PD	36,50	0,82	3,84	1,46	0,13	5,60	5,73	-0,77
	ESC	29,45	0,87	3,23	1,32	0,14	5,80	5,33	-0,83
AP	PD	15,34	0,97	4,08	1,61	0,09	5,35	5,62	-0,73
	ESC	13,32	0,81	3,26	1,40	0,11	5,36	5,42	-0,76
Camada 0,05-0,10 m									
BR	PD	24,55	0,66	2,69	1,16	0,19	5,92	5,33	-0,90
	ESC	15,88	0,63	2,88	1,18	0,23	6,24	5,25	-0,61
MS	PD	16,87	0,57	3,23	1,31	0,23	5,61	5,34	-0,74
	ESC	18,56	0,51	1,70	0,74	0,56	7,22	4,80	-0,70
TR	PD	27,56	0,71	3,09	1,19	0,21	5,60	5,41	-0,89
	ESC	36,01	0,73	2,76	1,11	0,26	6,01	5,31	-0,84
AV	PD	12,10	0,76	2,75	1,05	0,21	6,06	5,17	-0,91
	ESC	16,70	0,63	2,97	1,30	0,14	5,53	5,32	-0,99
Camada 0,10-0,20 m									
BR	PD	15,94	0,44	2,48	0,96	0,19	5,53	5,04	-0,64
	ESC	9,26	0,57	2,10	0,75	0,29	6,06	4,98	-0,80
MS	PD	21,86	0,37	2,44	1,06	0,46	5,96	5,26	-0,86
	ESC	20,05	0,40	1,65	0,58	0,51	7,03	4,75	-0,87
TR	PD	11,84	0,60	2,11	0,74	0,29	6,06	5,10	-0,75
	ESC	25,52	0,61	2,16	0,87	0,28	6,12	5,11	-0,81
AV	PD	12,30	0,60	1,71	0,72	0,34	6,07	5,11	-0,84
	ESC	12,06	0,51	1,72	0,90	0,38	6,00	4,92	-0,65

Fósforo disponível (P); potássio trocável (K⁺); cálcio trocável (Ca²⁺); magnésio trocável (Mg²⁺); acidez trocável (Al³⁺); acidez potencial (H+Al); pH_(H₂O); plantio direto (PD); plantio direto escarificado (ESC); braquiária (BR); milho segunda safra (MS); trigo (TR); aveia (AP).

4.4.8 Fracionamento Químico da Matéria Orgânica

O fracionamento da matéria orgânica foi realizado de acordo com a metodologia proposta por Benites, Madari e Machado (2003). O método consiste na extração dos ácidos fúlvicos e húmicos (sobrenadante) da humina (precipitado) com adição de NaOH 0,1 mol L⁻¹. Posteriormente o sobrenadante é separado com adição de H₂SO₄ 20% até pH 1,0 e filtragem a vácuo com membrana de 0,45 µm. O ácido húmico é solubilizado novamente com adição de NaOH 0,1 mol L⁻¹. As frações obtidas são reservadas para análise posterior. A determinação do carbono das frações é

realizada de acordo com o método de Walkley-Black modificado (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

4.4.9 Procedimentos Estatísticos

Após determinar a homogeneidade de variância e normalidade dos resíduos com os testes de Bartlett e Shapiro – Wilk, respectivamente, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o delineamento em blocos casualizados em parcelas subdivididas. Quando apresentado P-valor estatisticamente significativo ($P < 0,05$), os dados foram submetidos ao teste Tukey com 5% de probabilidade para observar as diferenças entre as médias dos tratamentos. Também foi realizada análise de correlação linear de Pearson entre os atributos do solo. Todas as análises foram realizadas usando o software R e o pacote utilizado foi o “ExpDes.pt”.

4.5 RESULTADOS

Na tabela 4.2 constam os valores de argila espontaneamente dispersa em água (AEDA) para os diferentes manejos de solo e sistemas de culturas, das três camadas de solo avaliadas (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). Não foi possível observar diferenças estatísticas entre os tratamentos para nenhuma das camadas.

Tabela 4.2. Argila espontaneamente dispersa em água nos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.

Manejos de solo	Sistemas de culturas			
	BR	MS	TR	AP
Argila espontaneamente dispersa em água (g kg ⁻¹)				
Camada 0,00-0,05 m				
PD	0,37 Aa	0,34 Aa	0,38 Aa	0,43 Aa
ESC	0,39 Aa	0,40 Aa	0,28 Aa	0,45 Aa
Camada 0,05-0,10 m				
PD	0,59 Aa	0,35 Aa	0,63 Aa	0,55 Aa
ESC	0,46 Aa	0,43 Aa	0,36 Aa	0,52 Aa
Camada 0,10-0,20 m				
PD	0,31 Aa	0,35 Aa	0,18 Aa	0,26 Aa
ESC	0,59 Aa	0,34 Aa	0,23 Aa	0,45 Aa

Fonte: o próprio autor.

Letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto (PD); Plantio direto escarificado (ESC); BR Braquiária; MS Milho de segunda safra; TR Trigo; AP Aveia preta.

Na tabela 4.3 encontram-se os valores de argila mecanicamente dispersa em água (AMDA) para os diferentes manejos de solo e sistemas de culturas das três camadas de solo avaliadas (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). Assim como para a AEDA, não foi possível observar diferenças estatísticas entre os tratamentos para nenhuma das camadas.

Tabela 4.3. Argila mecanicamente dispersa em água nos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.

Manejos de solo	Sistemas de culturas			
	BR	MS	TR	AP
Argila mecanicamente dispersa em água (g kg ⁻¹)				
Camada 0,00-0,05 m				
PD	135 Aa	130 Aa	130 Aa	125 Aa
ESC	145 Aa	103 Aa	119 Aa	114 Aa
Camada 0,05-0,10 m				
PD	143 Aa	148 Aa	150 Aa	155 Aa
ESC	158 Aa	129 Aa	131 Aa	151 Aa
Camada 0,10-0,20 m				
PD	129 Aa	132 Aa	114 Aa	142 Aa
ESC	144 Aa	106 Aa	135 Aa	116 Aa

Fonte: o próprio autor.

Letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey (p>0,05).

Plantio Direto (PD); Plantio direto escarificado (ESC); BR Braquiária; MS Milho de segunda safra; TR Trigo; AP Aveia preta.

Na tabela 4.4 pode-se observar os valores das frações da matéria orgânica, ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU) dos diferentes manejos de solo e sistemas de culturas, das três camadas de solo avaliadas (0,00-0,05, 0,05-0,10 e 0,10-0,20 m). Não foi possível observar diferenças estatísticas entre os tratamentos para nenhuma das camadas.

Tabela 4.4. Ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e huminas dos sistemas de culturas e manejos de solo nas diferentes camadas avaliadas.

Camadas	0,00-0,05 m		0,05-0,10 m		0,10-0,20 m	
Sistemas de culturas	Manejos de solo					
	PD	ESC	PD	ESC	PD	ESC
Ácidos fúlvicos (mg g ⁻¹)						
BR	4,4 Aa	4,2 Aa	3,5 Aa	3,7 Aa	4,0 Aa	3,8 Aa
MS	4,0 Aa	2,9 Aa	3,6 Aa	3,8 Aa	3,8 Aa	3,8 Aa
TR	4,0 Aa	3,1 Aa	3,4 Aa	4,0 Aa	3,6 Aa	3,7 Aa
AP	4,5 Aa	3,3 Aa	3,8 Aa	3,2 Aa	4,2 Aa	4,2 Aa
Ácidos húmicos (mg g ⁻¹)						
BR	8,6 Aa	9,5 Aa	5,2 Aa	6,8 Aa	6,7 Aa	8,3 Aa
MS	8,7 Aa	8,3 Aa	6,6 Aa	6,2 Aa	6,6 Aa	7,8 Aa
TR	7,7 Aa	8,9 Aa	6,3 Aa	6,3 Aa	6,2 Aa	7,3 Aa
AP	10,0 Aa	7,7 Aa	6,1 Aa	5,3 Aa	7,4 Aa	7,5 Aa
Huminas (mg g ⁻¹)						
BR	12,8 Aa	13,2 Aa	7,6 Aa	8,3 Aa	10,2 Aa	11,7 Aa
MS	13,6 Aa	10,3 Aa	9,2 Aa	7,4 Aa	12,0 Aa	9,1 Aa
TR	12,0 Aa	11,1 Aa	8,0 Aa	7,9 Aa	9,8 Aa	10,0 Aa
AP	13,2 Aa	11,5 Aa	9,3 Aa	8,6 Aa	10,5 Aa	10,3 Aa

Fonte: o próprio autor.

Letras iguais, maiúsculas na coluna e minúsculas na linha, não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Plantio Direto (PD); Plantio direto escarificado (ESC); BR Braquiária; MS Milho de segunda safra; TR Trigo; AP Aveia preta

Foi realizada uma análise de correlação linear de Pearson, para observar, nas três camadas de solo avaliadas, a influência dos atributos químicos do solo e frações da matéria orgânica (AF, AH e HU) sobre a AEDA e AMDA, assim como, os efeitos das frações da matéria orgânica sobre os atributos químicos do solo (Tabela 4.5). Nas três camadas de solo avaliadas foi possível observar que: o AF e AEDA não se correlacionaram com nenhum atributo; o AH apresentou correlação positiva com os atributos H+Al e Al³⁺ e negativa com pH_(H2O), Ca²⁺, Mg²⁺; a HU apresentou correlação positiva com os atributos K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e pH_(H2O) e negativa com Al³⁺, H+Al; a AMDA obteve correlação positiva com os atributos K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e pH_(H2O), e negativa com Al³⁺ e H+Al (Tabela 4.5).

Tabela 4.5. Correlação linear de Pearson entre os atributos físicos e químicos para os diferentes manejos de solo e sistemas de culturas.

	AF	AH	HU	AMDA	AEDA
Camada 0,00-0,05 m					
AMDA	Ns	ns	ns	-	ns
AEDA	Ns	ns	ns	ns	-
P	Ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	Ns	ns	0,47*	ns	ns
Ca ²⁺	Ns	ns	0,66**	0,56**	ns
Mg ²⁺	Ns	ns	0,56**	0,59**	ns
Al ³⁺	Ns	ns	-0,64**	-0,64**	ns
H+Al	Ns	0,54**	-0,57**	-0,50*	ns
pH _(H₂O)	Ns	-0,46*	0,61**	0,51*	ns
ΔpH	Ns	ns	ns	ns	ns
Camada 0,05-0,10 m					
AMDA	Ns	ns	ns	-	ns
AEDA	Ns	ns	ns	ns	-
P	Ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	Ns	ns	ns	ns	ns
Ca ²⁺	Ns	-0,56**	0,71**	0,60**	ns
Mg ²⁺	Ns	-0,67**	0,56**	0,59**	ns
Al ³⁺	Ns	0,60**	-0,49*	-0,61**	ns
H+Al	Ns	0,76**	-0,48*	-0,52**	ns
pH _(H₂O)	Ns	-0,70**	0,49*	0,46*	ns
ΔpH	Ns	ns	ns	ns	ns
Camada 0,10-0,20 m					
AMDA	Ns	ns	ns	-	ns
AEDA	Ns	ns	ns	ns*	-
P	Ns	ns	ns	ns	ns
K ⁺	Ns	ns	ns	0,43*	ns
Ca ²⁺	Ns	ns	ns	0,70**	ns
Mg ²⁺	Ns	-0,50*	0,43*	0,64**	ns
Al ³⁺	Ns	0,49*	ns	-0,73**	ns
H+Al	Ns	0,59**	ns	-0,62**	ns
pH _(H₂O)	Ns	ns	0,49*	0,61**	ns
ΔpH	Ns	ns	ns	ns	ns

Fonte: o próprio autor.

^{ns}não significativo. *significativo a 5%. **significativo a 1%. argila mecanicamente dispersa em água (AMDA); argila espontaneamente dispersa em água (AEDA); ácido fúlvico (AF); ácido húmico (AH); humina (HU); fósforo disponível (P); potássio trocável (K⁺); cálcio trocável (Ca²⁺); magnésio trocável (Mg²⁺); acidez trocável (Al³⁺); acidez potencial (H+Al); carbono orgânico total (COT).

4.6 DISCUSSÃO

A hipótese do trabalho, que a escarificação e as culturas alteram a estabilidade da microestrutura do solo, não foi corroborada. Os valores de AEDA e AMDA foram estatisticamente iguais para todos os tratamentos, não havendo efeitos dos manejos de solo e sistemas de culturas, nem interação entre essas variáveis.

Os efeitos da escarificação variam de acordo com o atributo físico avaliado, se mantendo por 6 meses em relação a densidade, porosidade total e macroporosidade, 18 meses para a resistência à penetração e 24 meses sobre a condutividade hidráulica e taxa de infiltração de água no solo (DRESCHER et al., 2016). De outro lado nota-se a falta de trabalhos na literatura mostrando os efeitos da dessa operação em relação a estabilidade da microestrutura (AEDA e AMDA). Desta foram, havia a possibilidade desses atributos serem influenciados pela escarificação, mesmo após quatro anos, visto que, o uso e manejo de solo influenciam a dispersão da argila (FERREIRA et al., 2010; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON 2010). Porém, não foi possível observar efeitos da escarificação sobre a microestrutura após quatro anos.

Com isso, há a necessidade de se avaliar os efeitos da escarificação sobre a dispersão de argila ao longo do tempo com o objetivo de observar se há influência dessa operação em relação tanto a AMDA quanto AEDA, bem como sua persistência. Assim como Guedes Filho et al. (2013), observaram que a escarificação promoveu redução na estabilidade dos agregados do solo seis meses após a sua realização, porém dezoito meses depois, a estabilidade do agregado do solo foi recuperada.

Também era esperado que as plantas de cobertura promovessem alterações em relação a microestrutura do solo, alterações maiores que as do manejo ESC em relação ao PD. Pois, diferente da escarificação, que foi realizada apenas uma vez quatro anos antes da avaliação do experimento, as plantas de coberturas foram diferentes por um período de três anos consecutivos e a avaliação do experimento foi pouco tempo após a última safra de inverno.

Estudos prévios realizados no mesmo experimento mostraram que as diferentes culturas proporcionaram diferenças na massa seca da parte aérea e massa seca de raiz (BERTOLLO et al., 2015), e também alterações nos atributos microbiológicos e bioquímicos do solo (DEBIASI 2018), assim como observado na

literatura, os diversos sistemas de culturas proporcionaram diferenças nos teores de COT (CALEGARI et al., 2008; REIS; LIMA; PAULETTO, 2014; SEBEN JUNIOR; CORÁ; LAL, 2016). Com isso, esperava-se que os sistemas de culturas proporcionassem alterações de formas diferentes em relação as frações da MO.

Como a MO esta diretamente relacionados com a dispersão de argila (NGUETNKAM; DULTZ, 2014), podendo tanto aumentar a dispersão, devido o aumento deste atributo gerar cargas negativas em excesso no solo, proporcionando a repulsão dos colóides (PAIVA et al., 2000), assim como pode apresentar efeito cimentante (BARBOSA et al., 2015), reduzindo a dispersão da argila (NGUETNKAM; DULTZ, 2014). O esperado para esse estudo era que as alterações nos teores de das frações da MO promovessem mudanças nos valores de AEDA e AMDA, porém não foi possível observar diferenças nos valores das frações da MO em relação aos sistemas de culturas, da mesma forma não havendo efeito sobre a microestrutura do solo.

A outra hipótese do trabalho, que a escarificação e as culturas alteram a qualidade da matéria orgânica do solo, também não foi corroborada. Os valores de ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e huminas (HU) não diferiram entre os tratamentos, não havendo efeitos dos manejos de solo e sistemas de culturas, nem interação entre essas variáveis.

Seguindo a mesma premissa que a utilizada para a microestrutura, resultados de estudos prévios realizados no experimento sugeria que as culturas utilizadas no trabalho proporcionassem diferenças em relação aos teores das substâncias húmicas avaliadas. Assim como no trabalho de Souza, Figueiredo e Sousa (2016), que observaram diferenças entre os sistemas de manejo e as plantas de cobertura na superfície do solo, onde no PD, as plantas de cobertura forneceram diferentes conteúdos das substâncias húmicas. Da mesma forma, Santos et al. (2014) também observaram diferenças para os teores de substâncias húmicas em relação aos diferentes sistemas de culturas.

Também era esperado que a escarificação proporcionasse diferenças em relação ao PD para os teores das substâncias húmicas, maiores que as diferenças esperadas para os sistemas de culturas, em que, as modificações nos teores de substâncias húmicas são mais sensíveis às alterações proporcionadas pelos manejos que as proporcionadas pelos sistemas de culturas (BAYER et al., 2002). Visto que, mesmo com a estabilidade das frações húmicas, seus teores podem ser alterados de

acordo com o manejo do solo, por isso diferentes frações do solo podem ser usadas como indicadores da qualidade da MO (FONTANA et al., 2011; CAETANO et al., 2013). Souza et al. (2016) observaram que os valores de HU foram mais baixos no plantio convencional em comparação com o PD, segundo os autores, indicando que mesmo essa fração mais recalcitrante é afetada pelo manejo do solo.

Neste trabalho, como não houve diferença entre os tratamentos, isso pode estar relacionado ao fato das frações húmicas serem altamente resistentes à biodegradação, por causa de sua recalcitrância inerente e interação com colóides minerais do solo, formando complexos argila-húmicos estáveis (GRINHUT; HADAR; CHEN, 2007), assim como, pelo fato dos valores de HU serem maiores em relação aos AF e AH, e a HU ter maior estabilidade (FONTANA et al., 2006; HAN et al., 2016), sendo substâncias altamente resistentes à degradação microbiana, fortemente combinada à fração mineral do solo, principalmente em solos oxídicos (STEVENSON, 1994; SPARKS, 2001; FONTANA et al., 2011), indicando que a MO está no seu estado mais avançado de humificação, (SCHNITZER; KHAN, 1978).

Em relação às frações AF e AH, por terem a capacidade de serem translocadas para camadas mais profundas do solo, polimerizadas ou mineralizadas, e diminuir seu teor residual no solo (FONTANA et al., 2006; HAN et al., 2016), isso pode ter impossibilitado qualquer tipo de acúmulo destas frações nas camadas avaliadas, inibindo a presença de diferenças entre os sistemas de manejo e culturas, para os teores de substâncias húmicas.

A falta de diferenças entre os tratamentos também pode estar relacionada ao fato de as culturas utilizadas nos tratamentos serem todas gramíneas, e a escarificação ser realizada quatro anos antes da avaliação do experimento. Provavelmente para alterar os teores de substâncias húmicas e a microestrutura, necessita-se de maior tempo de utilização das diferentes culturas, assim como número maior de escarificações e menos tempo entre a coleta de solo e a operação. Mostrando que há a necessidade de se estudar com mais detalhes o efeito da escarificação e sistemas de culturas sobre as substâncias húmicas do solo.

A análise de correlação foi realizada para explicar possíveis diferenças entre os tratamentos para os teores de AEDA e AMDA, bem como, mostrar a influência das substâncias húmicas sobre a fertilidade química do solo. Embora não se tenha observado diferenças entre os tratamentos neste trabalho, vale a pena

salientar as relações entre os atributos químicos do solo com os teores de AEDA, AMDA, AF, AH e HU.

Esperava-se que a AEDA se correlacionasse com os atributos químicos do solo, pois a dispersão da fração argila pode ocorrer por agentes químicos (CZYŻ; DEXTER, 2015), como pH e cátions constituintes da dupla camada elétrica, no qual os cátions na solução do solo possuem influência marcante na estabilidade dos sistemas coloidais (SPARKS, 2003). Porém, não foi possível observar correlações dos atributos químicos com a AEDA, o que pode estar relacionado com o fato de que, em condições de campo, a fração argila pode permanecer agregada por forças que não são exclusivamente eletrostáticas (JOZEFACIUK; CZACHOR, 2014).

Já para os teores de AMDA foi possível observar que os atributos Al^{3+} e $H+Al$ contribuíram para sua redução, pois, o hidrogênio trocável (H^+) e o alumínio trocável são considerados cátions com maior efeito floculante nas partículas do solo (MORELLI; FERREIRA, 1987; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010). Assim, o aumento nos valores destes cátions no complexo de troca reduz a carga líquida das superfícies das partículas, que reduz a espessura da dupla camada elétrica, reduzindo a força de repulsão entre as partículas e a dispersão de argila (SPOSITO, 1989; ALBUQUERQUE et al., 2000, 2003).

Em contrapartida, o aumento nos valores dos atributos K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e $pH_{(H_2O)}$ proporcionaram aumento nos teores de AMDA, o que pode estar relacionado com a substituição do H^+ e Al^{3+} por estes cátions no complexo de troca, aumentando a espessura da dupla camada elétrica, que é inversamente proporcional à valência dos cátions no complexo de troca (SHAINBERG; LEVY, 2005; MAHANTA, MISHRA, KANSAL, 2014), promovendo o aumento nos teores de AMDA. O aumento do pH proporciona o afastamento deste em relação ao ponto isoelétrico, com isso o desequilíbrio no balanço de cargas, acarretando em maior a dispersão (CHOROM; RENGASAMY, 1995). O aumento do pH também reduz os valores de Al^{3+} e $H+Al$ (ZANDONÁ et al., 2015), diminuindo o efeito dos cátions, com maior efeito floculante do solo.

A respeito das relações das substâncias húmicas com os atributos do solo, notou-se que apresentaram resultados diferentes dos esperados e observados na literatura. Em relação aos AF, não foi possível observar correlações com os atributos do solo, ao contrário do esperado, pois estes compostos são os principais

responsáveis por mecanismos de transporte de cátions ao longo do perfil do solo (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003).

A respeito das HU, esperava-se que apresentassem correlações positivas com a Al^{3+} e H+Al, pois estes estão relacionados com a floculação da argila (MORELLI; FERREIRA, 1987; TAVARES FILHO; BARBOSA; RIBON, 2010), e as HU são responsáveis por mecanismos de agregação de partículas (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003), desta forma reduzindo teores AEDA e AMDA, com correlações negativas. Porém, as correlações com a Al^{3+} e H+Al foram negativa, e não foi possível observar correlação com AEDA e AMDA. No entanto, a HU foi a fração da MO que mais se correlacionou com os cátions do solo, além da Al^{3+} e H+Al, mencionado anteriormente. Proporcionou aumento nos valores de K^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} , cátions que estão diretamente relacionados com o desenvolvimento das culturas, mostrando que o aumento nos valores desta fração, embora não tenha melhorado a qualidade física, proporciona melhorias na fertilidade química do solo.

Em relação aos AH, por estes compostos serem responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais de solos (BENITES; MADARI; MACHADO, 2003) propiciando um ambiente mais favorável às reações de troca iônica (CUNHA et al., 2009), esperava-se que aumentasse os teores dos cátions. Porém não foi possível observar esse comportamento, em que o aumento nos valores de desta fração reduziram os teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e não influenciaram os de K^+ , apenas aumentando os teores de H+Al e Al^{3+} , mostrando que há a necessidade de se estudar mais a relação das frações da MO com os atributos do solo.

4.7 CONCLUSÕES

As culturas de outono-inverno não influenciam a microestrutura e a qualidade da matéria orgânica do solo em curto período de tempo. Os efeitos da escarificação não estão presentes no solo, em relação a microestrutura e qualidade da matéria orgânica, depois de quatro anos.

O aumento nos valores de argila mecanicamente dispersa em água está relacionado ao aumento nos teores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e $pH_{(H_2O)}$, assim como a redução está relacionada com o aumento nos teores de Al^{3+} e H+Al. Em contrapartida, a argila espontaneamente dispersa em água não é influenciada pelos atributos químicos do solo.

As huminas são as substâncias húmicas que mais influenciam os cátions do solo, aumentando os valores de K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} e reduzindo os valores de Al^{3+} e $H+Al$. Os ácidos húmicos apresentam menor influência, reduzindo os valores de Ca^{2+} e Mg^{2+} e aumentando os teores de $H+Al$ e Al^{3+} . Sem influência dos ácidos fúlvicos. Também não há influencia destes atributos em relação a microestrutura do solo.

5 REFERÊNCIAS

ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; ANGERS, D. A.; LETERME, P. Dynamics of aggregate stability and biological binding agents during decomposition of organic materials. **European Journal of Soil Science**. v. 58, p. 239-247, 2007.

ABIVEN, S.; MENASSERI, S.; CHENU, C. The effects of organic inputs over time on soil aggregate stability-A literature analysis. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 41, p. 1-12, 2009.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 24, p. 295-300, 2000.

ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MAFRA, A. L.; FONTANA, E. C. Aplicação de calcário e fósforo e estabilidade da estrutura de um solo ácido. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p. 799-806, 2003.

ALLEONI, L. R. F.; CAMARGO, O. A. Atributos físicos de Latossolos Ácricos do norte paulista. **Scientia Agricola**. v. 51, p. 321-326, 1994.

AN, S.; MENTLER, A.; MAYER, H.; BLUM, W. E. Soil aggregation, aggregate stability, organic carbon and nitrogen in different soil aggregate fractions under forest and shrub vegetation on the Loess Plateau, China. **Catena**. v.81, p. 226–233, 2010.

ARRUDA, C. A. O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A. L.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; SANTOS, J. C. P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**. v. 34, p. 804-809, 2010.

ASSOULINE, S.; TAVARES FILHO, J.; TESSIER, D. Effect of compaction on soil physical and hydraulic properties: experimental results and modeling. **Soil Science Society of America Journal**. v. 6, p. 390-398, 1997.

AZEVEDO, A. C.; BONUMÁ, A. S. Partículas coloidais, dispersão e agregação em Latossolos. **Ciência Rural**. v. 34, p. 609-617, 2004.

BARBOSA, G. M. C.; OLIVEIRA, J. F.; MIYAZAWA, M.; RUIZ, D. B.; TAVARES FILHO, J. Aggregation and clay dispersion of an Oxisol treated with swine and poultry manures. **Soil and Tillage Research**. v. 146, p. 279-285, 2015.

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

BARTHÈS, B.; ROOSE, E. Aggregate stability as an indicator of soil susceptibility to runoff and erosion; validation at several levels. **Catena**. v. 47, p. 133-149, 2002.

BASTOS, R. S.; MENDONÇA, E. S.; ALVAREZ, V. H.; CORRÊA, M. M.; COSTA, L. M. Formação e estabilização de agregados do solo decorrentes da adição de compostos orgânicos com diferentes características hidrofóbicas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 29, p. 11-20, 2005.

BAVOSO, M. A.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A.; PAULETTI, V. Preparo do solo em áreas de produção de grãos, silagem e pastejo: efeito na resistência tênil e friabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 227-234, 2010.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; AMADO, T. J. C.; MARTIN NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 54, p. 101-109, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; SAAB, S. C.; MILORI, D. M. P.; BAGNATO, V. S. Tillage and cropping system effects on soil humic acid characteristics as determined by electron spin resonance and fluorescence spectroscopies. **Geoderma**. v. 105, p. 81-92, 2002.

BENITES, V. M.; MENDONÇA, E. S. Propriedades eletroquímicas de um solo eletropositivo influenciadas pela adição de diferentes fontes de matéria orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 215-221, 1998.

BENITES, V. M.; MADARI, B.; MACHADO, P. L. O. A. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de**

baixo custo. Rio de Janeiro: Embrapa, 2003, 7 p. (Comunicado Técnico, 16).

BERTOLLO, A. M.; MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; MAZURANA, M.; LEVIEN, R. Desenvolvimento radicular da Soja subsequente a plantas de cobertura em Latossolo com níveis de compactação. *In: XXXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: O Solo e Suas Múltiplas Funções.* 2015, Natal-RN. Anais: ISBN: 978-85-86504-14-3. Natal-RN: SBCS, 2015.

BEYLICH, A.; OBERHOLZER, H. R.; SCHRADER, S.; HÖPER, H.; WILKE, B. M. Evaluation of soil compaction effects on soil biota and soil biological processes in soils. **Soil and Tillage Research**, v. 109, p. 133-143, 2010.

BLANCO-CANQUI, H.; LAL, R.; OWENS, L. B.; POST, W. M.; IZAURRALDE, R. C. Mechanical properties and organic carbon of soil aggregates in the Northern Appalachians. **Soil Science Society of America Journal.** v. 69, p. 1472-1481, 2005.

BODDEY, R. M.; JANTALIA, C. P.; CONCEIÇÃO, P. C.; ZANATTA, J. A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; DIECKOW, J.; SANTOS, H. P.; DENARDIN, J. E.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S. Carbon accumulation at depth in Ferralsols under zero till subtropical agriculture. **Global Change Biology**, v. 16, p. 784-795, 2010.

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

CAETANO, J. O.; BENITES, V. M.; SILVA, G. P.; SILVA, I. R.; ASSIS, R. L.; CARGNELUTTI FILHO, A. Dinâmica da matéria orgânica de um Neossolo Quartzarênico de cerrado convertido para cultivo em sucessão de soja e milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 37, p. 1245-1255, 2013.

CALEGARI, A.; CASTRO FILHO, C.; TAVARES FILHO, J.; RALISCH, R.; GUIMARÃES, M. F. Melhoria da agregação do solo através do sistema plantio direto. **Semina: Ciências Agrárias.** v. 27, p. 147-158, 2006.

CALEGARI, A.; HARGROVE, W. L.; RHEINHEIMER, D. S.; RALISCH, R.; TESSIER, D.; TOURDONNET, S.; GUIMARÃES, M. F. Impact of long-term no-tillage and

cropping system management on soil organic carbon in an Oxisol: a model for sustainability. **Agronomy Journal**. v. 100, p. 1013-1019, 2008.

CALONEGO, J. C.; GOMES, T. C.; SANTOS, C. H.; TIRITAN, C. S. Desenvolvimento de plantas de cobertura em solo compactado. **Bioscience Journal**. v. 27, p. 289-296, 2011.

CALONEGO, J. C.; ROSOLEM, C. A. Soil aggregate stability after management with crop rotation and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 1399-1407, 2008.

CALONEGO, J. C.; RAPHAEL, J. P. A.; RIGON, J. P. G.; OLIVEIRA NETO, L.; ROSOLEM, C. A. Soil compaction management and soybean yields with cover crops under no-till and occasional chiseling. **European Journal of Agronomy**. v. 85, p. 31–37, 2017.

CAMARGO, O. A.; ALLEONI, L. R. F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997. 132 p.

CAMARGO, O. A.; VALADARES, J. M. A. S.; BERTON, R. S.; TEÓFILO SOBRINHO, J. **Características físicas de solo que recebeu vinhaça**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1988, 12 p. (Boletim Científico, v. 14).

CANELLAS, L. P.; SANTOS, G. A.; RUMJANEK, V. M.; MORAES, A. A.; GURIDI, F. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, p.1529-1538, 2001.

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

CARVALHO JÚNIOR, I. A.; FONTES, L. E. F.; COSTA, L. M. Modificações causadas pelo uso e a formação de camada compactada e, ou adensamento em Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região dos cerrados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 22, p. 505-514, 1998.

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, p. 527-538, 1998.

CHENU, C.; LE BISSONNAIS, Y.; ARROUAYS, D. Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability. **Soil Science Society of America Journal**. v. 64, p. 1479-1486, 2000.

CHOROM, M.; RENGASAMY, P. Dispersion and zeta potential of pure clays as related to net particle charge under varying pH, electrolyte concentration and cation type. **European Journal of Soil Science**. v.46, p. 657-665, 1995.

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

CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos de solos da região das Várzeas de Sousa (PB). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p. 311-324, 2003.

CORRÊA, M. M.; ANDRADE, F. V.; MENDONÇA, E. S.; SCHAEFER, C. E. G. R.; PEREIRA, T. T. C.; ALMEIDA, C. C. Ácidos húmicos e alterações em algumas propriedades físicas e químicas de Latossolos, Plintossolo, e Neossolo Quartzarêmico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 121-131, 2008.

CRUSCIOL, C. A. C.; MATEUS, G. P.; NASCENTE, A. S.; MARTINS, P. O.; BORGHI, E.; PARIZ, C. M. An innovative crop-forage intercrop system: early cycle soybean cultivars and palisadegrass. **Agronomy Journal**. v. 104, p. 1085-1095, 2012.

CUNHA, T. J. F.; BASSOI, L. H.; SIMÕES, M. L.; MARTIN-NETO, L.; PETRERE, V. G.; RIBEIRO, P. R. A. Ácidos húmicos em solo fertirrigado no vale do São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 33, p. 1583-1592, 2009.

CZYŻ, E. A.; DEXTER, A. R. Mechanical dispersion of clay from soil into water: readily dispersed and spontaneously-dispersed clay. **International Agrophysics**, v. 29, p. 31-37, 2015.

DEBIASI, B. C. T. **Atividade e diversidade microbiana em latossolo submetido à compactação e culturas de outono-inverno sob sistema plantio direto**. 2018. 118p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina-PR, 2018.

DEBIASI, H.; FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; CONTE, O. **Diversificação de espécies vegetais como fundamento para a sustentabilidade da cultura da soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2015. 60 p. (Embrapa Soja. Documentos, 366).

DEXTER, A. R.; KROESBERGEN, B. Methodology for determination of tensile strength of soil aggregates. **Journal of Agricultural Engineering Research**. v. 31, p. 139-147, 1985.

DEXTER, A. R.; WATTS, C. Tensile strength and friability. In: SMITH, K.; MULLINS, C. eds. **Soil and environmental analysis: Physical methods**. 2.ed. New York, Marcel Dekker, 2000. p.401-430.

DRESCHER M. S.; REINERT, D. J.; DENARDIN, J. E.; GUBIANI, P. I.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Duração das alterações em propriedades físico-hídricas de Latossolo argiloso decorrentes da escarificação mecânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 51, p. 159-168, 2016.

DUIKER, S. W.; RHOTON, F. E.; TORRENT, J.; SMECK, N. E.; LAL, R. Iron (hydr) oxides crystallinity effects on soil aggregation. **Soil Science Society of America Journal**. v. 67, p. 606-611, 2003.

DURGIN, P. B.; CHANEY, J. G. Dispersion of kaolinite by dissolved organic matter from douglas-fir roots. **Canadian Journal of Soil Science**. v. 64, p. 445-455, 1984.

EKWUE, E. I.; STONE, R. J. Organic matter effects on the strength properties of compacted agricultural soils. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**. v. 38, p. 357-365, 1995.

ERTHAL, V. J. T.; FERREIRA, P. A.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G. Alterações físicas e químicas de um Argissolo pela aplicação de água residuária de bovinocultura; **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.14, p.467-477, 2010.

FERREIRA, O. A.; SÁ, M. C. J.; GIAROLA, B. F. N.; HARMS, G. B.; MIARA, S.; BAVOSO, A. M.; BRIEDIS, C.; QUADROS NETTO, C. Variação na resistência tênsil de agregados em função do conteúdo de carbono em dois solos na região dos Campos Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 35, p. 437-445, 2011.

FERREIRA, R. R. M.; TAVARES FILHO, J.; FERREIRA, V. M.; RALISCH, R. Estabilidade física de solo sob diferentes manejos de pastagem extensiva em Cambissolo. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 31, p. 531-538, 2010.

FERREIRA, F. P.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; GIRELLI, D. Organic carbon, iron oxides and aggregate distribution in two basaltic soils from Rio Grande do Sul State - Brasil. **Ciência Rural**. v. 37, p. 381-388, 2007.

FONTANA, A.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; CUNHA, T. J. F.; SALTON, J. C. Atributos de fertilidade e frações húmicas de um Latossolo Vermelho no cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 41, p. 847-853, 2006.

FONTANA, A.; SILVA, C. F.; PEREIRA, M. G.; LOSS, A.; BRITO, B. J.; BENITES, V. M. Avaliação dos compartimentos da matéria orgânica em área de Mata Atlântica. **Acta Scientiarum. Agronomy**. v. 33, p. 545-550, 2011.

FONTES, M. P. F.; GJORUP, G. B.; ALVARENGA, R. C.; NASCIF, P. G. S. Calcium salts and mechanical stress effects on water dispersible clay of Oxisols. **Soil Science Society of American Journal**. v. 59, p. 224-227, 1995.

FRANCHINI, J. C.; COSTA, J. M.; DEBIASI, H.; TORRES, E. **Importância da rotação de culturas para a produção agrícola sustentável no Paraná**. Londrina: Embrapa Soja. 2011. 52 p.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B. F.; OLIVEIRA, M. C. N.O.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**. v. 137, 178-185, 2012.

GOMES, P. C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L. M.; FORTES, M. P. F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de

floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**. v. 41, p. 223-233, 1994.

GONÇALVES, W. G.; JIMENEZ, R. L.; ARAUJO FILHO, J. V.; ASSIS, R. L.; SILVA, G. P.; PIRES, F. R. Root system of cover crops under soil compaction. **Engenharia Agrícola**. v. 26, p. 67-75, 2006.

GUIMARÃES, R. M. L.; TORMENA, C. A.; ALVES, S. J.; FIDALSKI, J.; BLAINSKI, E. Tensile strength, friability and organic carbon in an Oxisol under a crop-livestock system. **Scientia Agricola**. v. 66, p. 499-505, 2009.

GRINHUT, T.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Degradation and transformation of humic substances by saprotrophic fungi: processes and mechanisms. **Fungal Biology Reviews**. v. 21, p.179-189, 2007.

GUEDES FILHO, O.; SILVA, A. P.; GIAROLA, N. F. B.; TORMENA, C. A. Structural properties of the soil seedbed submitted to mechanical and biological chiseling under no-tillage. **Geoderma**. v. 204/205, p. 94-101, 2013.

HAN, L.; SUN, K.; JIN, J.; XING, B. Some concepts of soil organic carbon characteristics and mineral interaction from a review of literature. **Soil Biology and Biochemistry**. v. 94, p. 107-121, 2016.

HOMEM, B. G. C.; ALMEIDA NETO, O. B.; CONDÉ, M. S.; SILVA, M. D; FERREIRA, I. M.; Efeito do uso prolongado de água residuária da suinocultura sobre as propriedades químicas e físicas de um Latossolo Vermelho-Amarelo. **Científica**. v.42, p. 299-309, 2014.

HUANG, M.; LIANG, T.; WANG, L.; ZHOU, C. H. Effects of no-tillage systems on soil physical properties and carbon sequestration under long-term wheat–maize double cropping system. **Catena**. v. 128, p. 195-202, 2015.

IMHOFF, S.; SILVA, A. P.; DEXTER, A. R. Factors contributing to the tensile strength and friability of Oxisols. **Soil Science Society of American Journal**. v. 66, p. 1656-1661, 2002.

IGWE, C. A. Erodibility in relation to water-dispersible clay for some soils of eastern Nigeria. **Land Degradation & Development**. v. 16, p. 87-96, 2005.

IGWE, C. A.; UDEGBUNAM, O. N. Soil properties influencing water-dispersible clay and silt in an Ultisol in southern Nigeria. **International Agrophysics**. v. 22, n. 4, p. 319-325, 2008.

IUSS WORKING GROUP WRB. World reference base for soil resources 2014, update 2015. **International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps**. Rome: FAO 2015.

JOZEFACIUK, G.; CZACHOR, H. Impact of organic matter, iron oxides, alumina, sílica and drying on mechanical and water stability of artificial soil aggregates. Assessment of new method to study water stability. **Geoderma**, v. 221/222, p. 1-10, 2014

JUCKSCH, I. **Calagem e dispersão de argila em amostra de um Latossolo Vermelho-Escuro**. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, p. 37, 1987. (Tese de Mestrado).

KASPER, M.; BUCHAN, G. D.; MENTLER, A.; BLUM, W. E. H. Influence of soil tillage systems on aggregate stability and the distribution of C and N in different aggregate fractions. **Soil and Tillage Research**. v. 105, p. 192-199, 2009.

KAY, B. D.; DEXTER, A. R. The influence of dispersible clay and wetting/drying cycles on the tensile strength of a Red-Brown Earth. **Australian Journal of Soil Research**. v. 30, p. 297-310, 1992.

KEMPER, W. D.; ROSENAU, R. C. Aggregate stability and size distribution. In: editors do livro; **Methods of Soil Analysis, Part 1, Physical and Mineralogical Methods**, American Society of Agronomy, Agronomy Monograph, n. 9 (2nd Edition), p.425-442, 1986.

KRETZSCHMAR, R.; ROBARGE, W. P.; WEED, S. B. Flocculation of kaolinitic soil clays: effects of humic substances and iron oxides. **Soil Science Society of America Journal**. v. 25, p. 1277-1283, 1993.

LEE, B. J.; SCHLAUTMAN, M. A.; TOORMAN, E.; FETTWEIS, M. Competition between kaolinite flocculation and stabilization in divalent cation solutions dosed with anionic polyacrylamides. **Water Research**. v. 46, p. 5696-5706, 2012.

LEVY, G. J.; EISENBERG, H.; SHAINBERG, I. Clay dispersion as related to soil properties and water permeability. **Soil Science**. v. 155, p. 15-22, 1993.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; NEVES, J. C. L.; MACHADO, P. L. O. A.; GALVÃO, J. C. C. Estoques totais de carbono orgânico e seus compartimentos em argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, p. 821-832, 2003.

LIMA, J. M.; ANDERSON, S. J.; CURI, N. Phosphate-induced clay dispersion as related to aggregate size and composition in Hapludoxs. **Soil Science Society of American Journal**. v. 64, p. 892-897, 2000.

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

MAHANTA, K. K.; MISHRA, G. C.; KANSAL, M. L. Estimation of the electric double layer thickness in the presence of two types of ions in soil water. **Applied Clay Science**, v. 87, p. 212-218, 2014.

MENDONÇA, E. S.; ROWELL, D. L. Dinâmica do alumínio e de diferentes frações orgânicas de um Latossolo argiloso sob cerrado e soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 18, p. 295-303, 1994.

MERTEN, G. H.; ARAÚJO, A. G.; BISCAIA, R. C. M.; BARBOSA, G. M. C.; CONTE O. No-till surface runoff and soil losses in southern Brazil. **Soil and Tillage Research**. v. 152, p. 85–93, 2015.

MEURER, E. J. **Fundamentos de química do solo**. Evangraf, 3.ed, Poto Alegre, p. 285, 2006.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O., Eds. **Fundamentos da matéria orgânica do**

solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Genesis, 1999. p.1-8.

MORAES, M. T.; DEBIASI, H.; CARLESSO, R.; FRANCHINI, J. C.; SILVA, V. R.; BONINI DA LUZ, F. Soil physical quality on tillage and cropping systems after two decades in the subtropical region of Brazil. **Soil and Tillage Research.** v.155, p. 351-362, 2016.

MORELLI, M.; FERREIRA, E. B. Efeito do carbonato de cálcio e do fosfato diamônico em propriedades eletroquímicas e físicas de um Latossolo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 11, p. 1-6, 1987.

MÜLLER, M. M. L.; CECCON, G.; ROSOLEM, C. A. Influência da compactação do solo em subsuperfície sobre o crescimento aéreo e radicular de plantas de adubação verde de inverno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo.** v. 25, p. 531-538, 2001.

MULLINS, C. E.; MACLEOD, D. A.; NORTHCOTE, K. H.; TISDALL, J. M.; YOUNG, I. M. Hardsettingsoils: behaviour, occurrence, and management. In: LAL, R.; STEWART, B. A. (Eds.), **Soil Degradation. Advances in Soil Science II.** Springer-Verlag, Berlin, p. 37-108, 1990.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. I. Laboratory studies with glucose ^{14}C , CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research.** v. 27, p. 389-399, 1989a.

MUNEER, M.; OADES, J. M. The role of Ca-organic interactions in soil aggregate stability. II. Field studies with ^{14}C -labelled, straw, CaCO_3 and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. **Australian Journal of Soil Research.** v. 27, p. 401-409, 1989b.

MUNKHOLM, L. J.; KAY B. D. Effect of water regime on aggregate tensile strength, rupture energy, and friability. **Soil Science Society of America Journal.** v.66, p. 702–709, 2002.

MUNKHOLM, L. J.; SCHJØNNING, P. Structural vulnerability of a sandy loam exposed to intensive tillage and traffic in wet conditions. **Soil and Tillage Research.** v. 79, p. 79-85, 2004.

NASCENTE, A. S.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and herbicide timing management on soybean yield under no-tillage system. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v. 47, p. 187-192, 2012.

NASCENTE, A. S.; LI, Y. C.; CRUSCIOL, C. A. C. Cover crops and no-till effects on physical fractions of soil organic matter. **Soil and Tillage Research**. v. 130, p. 52-57, 2013.

NASCENTE, A. S.; LI, Y.; CRUSCIOL, C. A. C. Soil aggregation, organic carbon concentration, and soil bulk density as affected by cover crop species in a no-tillage system. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 39, p. 871-879, 2015.

NGUETNKAM, J. P.; DULTZ, S. Soil degradation in Central North Cameroon: Water dispersible clay in relation to surface charge in Oxisol A and B horizons. **Soil and Tillage Research**. v. 113, p. 38-47, 2011.

NGUETNKAM, J. P.; DULTZ, S. Clay dispersion in typical soils of North Cameroon as a function of pH and electrolyte concentration. **Land Degradation & Development**. v. 25, p. 153-162, 2014.

NGUYEN, M. N.; DULTZ, S.; TRAN, T. T. T.; BUI, A. T. K. Effect of anions on dispersion of a kaolinitic soil clay: a combined study of dynamic light scattering and test tube experiments. **Geoderma**. v. 209, p. 209-2013, 2013.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: Mechanisms and implications for management. **Plant Soil**. v. 76, p. 319-337, 1984.

OADES, J. M. The retentions of organic matter in soils. **Biogeochemistry**. v. 5, p. 35-70, 1988.

OADES, J. M.; WATERS, A. G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**. v. 29, p. 815-828, 1991.

OLIVEIRA, J. T.; MOREAU, A. M. S. S.; PAIVA, A. Q.; MENEZES, A. A.; COSTA, O. V. Características físicas e carbono orgânico de solos sob diferentes tipos de uso da terra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 2821-2829, 2008. Número Especial.

PAIVA, A. Q.; SOUZA, L. S.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. Propriedades físico-hídricas de solos de uma toposseqüência de tabuleiro do estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.35, p. 2295-2302, 2000.

PARADELO, R.; VAN OORT, F.; CHENU, C. Water-dispersible clay in bare fallow soils after 80 years of continuous fertilizer addition. **Geoderma**. v. 200, p. 40-44, 2013.

PAVAN, M. A.; BLOCH, M. F.; ZEMPULSKI, H. C.; MIYAZAWA, M.; ZOCOLER, D. C. **Manual de análise química do solo e controle de qualidade**. Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, 1992. 38p. (Circular, 76).

PAVAN, M. A.; ROTH, C. H. Effect of lime and gypsum on chemical composition of runoff and leachate from samples of a Brazilian Oxisol. **Ciência e Cultura**. v. 44, p. 391-394, 1992.

PENG, X.; YAN, X.; ZHOU, H.; ZHANG, Y. Z.; SUN, H. Assessing the contributions of sesquioxides and soil organic matter to aggregation in an Ultisol under long-term fertilization. **Soil and Tillage Research**. v. 146, p. 89-98, 2015.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: a novel understanding of húmus chemistry and implications in soil science. **Advances in Agronomy**. v.75, p.57-134, 2002.

RAHIMI, H.; PAZIRA, E.; TAJIK, F. Effect of soil organic matter, electrical conductivity and sodium adsorption ratio on tensile strength of aggregates. **Soil and Tillage Research**. p. 54, v. 145-153, 2000.

RALISCH, R. **Análise comparativa do desempenho de três equipamentos de preparo do solo na descompactação de um Latossolo Roxo**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 1999.

REIS, D. A.; LIMA, C. L. R.; PAULETTO, E. A. Resistência tênsil de agregados e compressibilidade de um solo construído com plantas de cobertura em área de mineração de carvão em Candiota, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, p, 669-678, 2014.

RENGASAMY, P.; OLSSON, K. A. Sodicity and soil structure. **Soil Research**. v. 29, p. 935-952, 1991.

RENGASAMY, P. Clay dispersion. In: COUGHLAN, K.; CRESSWELL, H.; MCKENZIE, N. **Soil Physical Measurement and Interpretation for Land Evaluation**. Collingwood: CSIRO Publishing, 2002. p. 200-210.

RHOTON, F. E. Influence of time on soil response to no-till practices. **Soil Science Society of America Journal**. v. 64, p. 700-709, 2000.

RIBEIRO, B. T.; LIMA, J. M.; CURI, N.; OLIVEIRA, G. C.; LIMA, P. L. T. Cargas superficiais da fração argila de solos influenciadas pela vinhaça e fósforo. **Química Nova**. v.34, n. 1, p. 5-10, 2011.

SÁ, J. C. M.; TIVET, F.; LAL, R.; BRIEDIS, C.; HARTMAN, D. C.; SANTOS, J. Z.; SANTOS, J. B. Long-term tillage systems impacts on soil C dynamics, soil resilience and agronomic productivity of a Brazilian Oxisol. **Soil and Tillage Research**. v. 136, p. 38-50, 2014.

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, p. 11-21, 2008.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. D.; OLIVEIRA, V. A. D.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. D. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Embrapa 2013.

SANTOS, I. L.; CAIXETA, C. F.; SOUSA, A. A. T. C. S.; FIGUEIREDO, C. C.; RAMOS, M. L. G.; CARVALHO, A. M. Cover plants and mineral nitrogen: effects on organic matter fractions in an Oxisol under no-tillage in the cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 38, p. 1874-1881, 2014.

SCHNITZER, M.; KHAN, S. U. Soil organic matter. Amsterdam: **Elsevier**, 1978. 319p.

SEBEN JUNIOR, G. F.; CORÁ, J. E.; LAL, R. Soil aggregation according to the dynamics of carbon and nitrogen in soil under different cropping systems. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, p.1652-1659, 2016.

SECCO, D.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; SILVA, V. R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**. v.39, p. 58-64, 2009.

SEIDEL, E. P.; SCHNEIDER, A. P. H.; SUSTAKOWSKI, M. C.; MATTÉ, L. M.; MOTTIN, M. C.; SILVA, J. H. Soybean yield, soil porosity and soil penetration resistance under mechanical scarification in no-tillage system. **Journal of Agricultural Science**. v. 10, p. 268-277, 2018

SETA, A. K.; KARATHANASIS, A. D., Water dispersible colloids and factors influencing their dispersability from soil aggregates. **Geoderma**. v. 74, p. 255–266, 1996.

SHAINBERG, I.; LEVY, G. J. flocculation and dispersion. In: HILLEL, D. (Ed). Daniel Hillel. **Encyclopedia of Soils in the Environment**, Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 27-34.

SHANMUGANATHAN, R. T.; OADES, J. M. Effect of dispersible clay on the physical properties of the B horizon of a Red-Brown Earth. **Australian Journal of Soil Research**. v. 20, p. 315-324, 1982.

SHANMUGANATHAN, R. T.; OADES, J. M. Influence of anions on dispersion and physical properties of the A horizon of a Red-Brown-Earth. **Geoderma**. v. 29, p. 257-277, 1983.

SHAW, J. N.; TRUMAN, C. C.; REEVES, D. W. Mineralogy of eroded sediments derived from highly weathered Ultisols of central Alabama. **Soil and Tillage Research**. v. 68, p. 59-69, 2002.

SILVA, A. J. N.; CABEDA, M. S. V.; CARVALHO, F. G.; LIMA, J. F. W. F. Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v. 10, p. 76-83, 2006.

SILVA, A. P.; BABUJIA, L. C.; FRANCHINI, J. C.; RALISCH, R.; HUNGRIA, M.; GUIMARÃES, M. F. Soil structure and its influence on microbial biomass in different soil and crop management systems. **Soil and Tillage Research**, v. 142, p. 42-53, 2014.

SILVA, D. F.; MATOS, A. T.; PEREIRA, O. G.; CECON, P. R.; BATISTA, R. O.; MOREIRA, D. A. Alteração química de solo cultivado com capim Tifton 85 (*Cynodon* spp.) e fertirrigado com percolado de resíduo sólido urbano. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 33, p. 243-251, 2011.

SILVA, I. R.; MENDONÇA, E. S. Matéria orgânica do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V.; V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. 1017p.

SILVA, R. B.; LIMA, J. M.; DIAS JUNIOR, M. S. Efeito da adsorção de fosfato em parâmetros físicos e na compressibilidade de solos tropicais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 23, p. 219-226, 1999.

SOUZA, G. P.; FIGUEIREDO, C. C.; SOUSA, D. M. G. Soil organic matter as affected by management systems, phosphate fertilization, and cover crops. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.51, p.1668-1676, 2016.

SPARKS, D. L. Elucidating the fundamental chemistry of soils: Past and recent achievements and future frontiers. **Geoderma**, v.100, p.303-319, 2001.

SPARKS, D. L. **Environmental Soil Chemistry**. 2. ed. Boston: Academic Press, 2003. 352 p.

SPOSITO, G. **The chemistry of soils**. Oxford University Press, New York, 277 p, 1989.

STEVENSON, F.J. **Humus chemistry: genesis, composition, reactions**. New York: J. Wiley, 1994. 496p.

STUMPF, L.; PINTO, M. A. B.; PAULETTO, E. A.; PINTO, L. F. S.; DUTRA JUNIOR, L. A. Recuperação de solos degradados por mineração de carvão: indicadores de

qualidade e espécies vegetais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**. v.11, p. 210-217, 2016.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. C.; RIBON, A. A. Water-dispersible clay in soils treated with sewage sludge. **Revista Brasileira de Ciência do solo**. v. 34, n. 5, p. 1527-1534, 2010.

TAVARES FILHO, J.; FELTRAN, C. T. M.; OLIVEIRA, J. F.; ALMEIDA, E.; GUIMARÃES, M.F. Atributos de solo determinantes para a estimativa do índice de estabilidade de agregados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.47, p. 436441, 2012.

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

TISDALL, J. M. Possible role of soil microorganisms in aggregation in soils. **Plant and Soil**. v. 159, p.115-121, 1994.

TOMBÁ CZ, E.; LIBOR, Z.; ILLÉS, E.; MAJZIK, A.; KLUMPP, E. The role of reactive surface sites and complexation by humic acids in the interaction of clay mineral and iron oxide particles. **Organic Geochemistry**. v. 35, p. 257-267, 2004.

TOMBÁ CZ, E.; SZEKERES, M. Surface charge heterogeneity of kaolinite in aqueous suspensions in comparison with montmorillonite. **Applied Clay Science**. v. 34, p. 105-124, 2006.

TORMENA, C. A.; ARAÚJO, M. A.; FIDALSKI, J.; IMHOFF, S.; SILVA, A. P. Quantificação da resistência tênsil e da friabilidade de um Latossolo Vermelho distroférico sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 943-952, 2008.

TORMENA, C. A.; FIDALSKI J.; ROSSI JUNIOR, W. Resistência tênsil e friabilidade de um Latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, p. 33-42, 2008.

TREFALT, G.; RUIZ-CABELLO, F. J.; BORKOVEC, M. Interaction forces, heteroaggregation, and deposition involving charged colloidal particles. **The Journal of Physical Chemistry**. v. 118, p. 6346-6355, 2014.

UEHARA, G.; GILLMAN, G. P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. **Soil Science Society of American Journal**. v. 44, p. 250-252, 1980.

UTOMO, W. H.; DEXTER, A. R. Soil friability. **Journal of Soil Science**. v. 32, p. 203-213, 1981.

VAN RAIJ, B.; PEECH, M. Electrochemical properties of some Oxisols and Alfisols of the tropics. **Soil Science of American Proceedings**. v. 36, p. 587-593, 1972.

VASCONCELOS, R. F. B.; CANTALICE, J. R. B.; OLIVEIRA, V. S.; COSTA, Y. D. J.; CAVALCANTE, D. M. Aggregate stability in a dystrophic cohesive Yellow Latosol of a coastal plain under different sugarcane residue application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 34, p. 309-316, 2010.

VEIGA, M.; HORN, R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M.; Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil and Tillage Research**. v. 92, p. 104–113, 2007.

VENDRAME, P. R. S.; EBERHARDT, D. N.; BRITO, O. R.; MARCHÃO, R. L.; QUANTIN, C.; BECQUER, T. Formas de ferro e alumínio e suas relações com textura, mineralogia e carbono orgânico em Latossolos do cerrado. **Semina: Ciências Agrárias**. v. 32, p. 1657-1666, 2011.

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

WALKLEY, A.; BLACK, I. A. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. **Soil Science**. v. 37, p. 29-38, 1934.

WATTS, C. W.; DEXTER, A. R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**. v. 49, p. 73-84, 1998.

XU, R.; LI, C.; JI, G. Effect of low-molecular-weight organic anions on electrokinetic properties of variable charge soils. **Journal of Colloid and Interface Science**. v. 277, p. 243–247, 2004.

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

ZANDONÁ, R. R.; BEUTLER AN, BURG, G. M.; FARIAS BARRETO, C.; SCHMIDT M. R. Gesso e calcário aumentam a produtividade e amenizam o efeito do déficit hídrico em milho e soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, p. 128-137, 2015.

ZOTARELLI, L.; ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R. M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on light fraction and intra-aggregate soil organic matter in two Oxisols. **Soil and Tillage Research**. v. 95, p. 196-206, 2007.