

Cremildo António Luís Francisco

**MATÉRIA ORGÂNICA E AGREGAÇÃO DO SOLO EM ÁREAS
ADUBADAS COM DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação em Agroecossistemas
(PGA) da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de mestre em Agroecossistemas
Orientador: Prof. Dr. Arcângelo Loss
Co-orientador: Prof. Dr. Gustavo
Brunetto

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Francisco, Cremildo Antônio Luis
Matéria orgânica e agregação do solo em áreas
adubadas com dejetos líquidos de suínos / Cremildo
Antônio Luis Francisco ; orientador, Arcangelo Loss,
coorientador, Gustavo Brunetto, 2019.
70 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias,
Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Agroecossistemas. 2. Agregação do solo. 3.
Matéria orgânica do solo. 4. Dejetos líquidos de suínos.
5. Fracionamento granulométrico. I. Loss, Arcangelo
. II. Brunetto, Gustavo. III. Universidade Federal
de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Agroecossistemas. IV. Título.

**“Matéria Orgânica e Agregação do Solo
em Áreas Adubadas com Dejeito
Líquido de Suínos”**

Por

Cremildo Antônio Luís Francisco

Dissertação julgada adequada, em 26/02/2019, e aprovada em sua forma final, pelo Orientador e Membros da Banca Examinadora, para obtenção do título de Mestre em Agroecossistemas. Área de Concentração Agroecologia, no Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas, Centro de Ciências Agrárias/UFSC.



Prof. Dr. Arcângelo Loss (Coordenador do Programa)

Banca Examinadora:



Arcângelo Loss (Presidente / Orientador)



Fernanda Kokowicz Pilatti (Titular Externo/PNPD/RGV/UFSC)



Cledimar Rogério Lourenzi (Titular Interno/PPGA/UFSC)

Candidato ao título:



Cremildo Antônio Luís Francisco

Florianópolis, 26 de fevereiro de 2019

Dedico este trabalho aos meus pais que me trouxeram ao mundo, António Luís Francisco e Margarida Raice Vicente (em memória), ao meu api que me criou, Evaristo Raice Vicente, as minhas filhas Katleya e Keytlin e a minha esposa Judite de Fátima Chissico

AGRADECIMENTOS

À Deus todo poderoso pelo dom da vida, proteção e pela saúde.

Aos meus pais que me trouxeram ao mundo, e me ensinaram os primeiros valores da vida, mas que infelizmente não puderam ver-me crescer, espero que tenham orgulho do filho que tiveram.

Ao meu pai Evaristo Raice Vicente, que desde miúdo me amou, cuidou, protegeu, para que nada me faltasse, proporcionou-me a ferramenta para que me tornasse alguém na vida, a educação, por isso pai, ser-lhe-ei eternamente grato.

Às minhas filhas, Katleya e Keytlin, que me dão forças para ir em busca de mais e mais.

À minha esposa Judite Chissico, pelo apoio, companheirismo ao longo desse tempo todo, incentivo para que fosse atrás e por ter suportado esse tempo todo longe, sei o quanto foi difícil, por isso quero aqui te agradecer meu amor.

Ao meu orientador Arcângelo Loss, pelos ensinamentos, dedicação, presença quando sempre precisei e principalmente pela confiança e oportunidade de puder trabalhar consigo, o meu muito obrigado por tudo.

Ao meu co-orientador Gustavo Brunetto, pela disponibilidade de ter aceite o convite para juntos trabalharmos.

Aos professores e colegas do Núcleo de Ensino, Pesquisa e Extensão em Agroecologia (NEPEA) pelo acolhimento, ensinamentos e ajuda quando precisei, foram realmente uma família para mim durante esse tempo que juntos passamos.

Um agradecimento especial à BHEARD através da Agência dos Estados Unidos para o Desenvolvimento Internacional (USAID), sob o fundo CGIAR, prémio número BFS-G-11-00002, e o fundo antecessor de Segurança Alimentar e Mitigação de Crise II, prémio número EEM-G-00-04-00013, pela atribuição da bolsa de estudo para o mestrado.

RESUMO

A forma de aplicação dos dejetos líquidos suínos (DLS) no solo pode influenciar nos teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT), assim como na agregação do solo. Este trabalho objetivou avaliar a influência do modo de aplicação (superficial e injetada) de DLS sobre as frações da matéria orgânica e na estabilidade dos agregados do solo. Foram utilizados quatro tratamentos com quatro repetições, que consistiram em: dejetos líquidos de suínos injetados no solo (DLS_I), dejetos líquidos de suínos aplicados superficialmente no solo (DLS_S), adubação química (NPK) e testemunha sem adubação (TEST). Foram avaliados a estabilidade de agregados (diâmetro médio geométrico – DMG e distribuição de massa de agregados); os teores de COT, NT na terra fina seca ao ar (TFSA) e nos macro e microagregados; massa da matéria orgânica leve (MOL) e teores de C e N na MOL; as frações lábeis de MO e os isótopos de ^{13}C e ^{15}N nas camadas de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. Avaliando as duas formas de aplicação dos DLS, o DLS_I mostrou melhores resultados na estabilidade de agregados, apresentando maior DMG nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Na distribuição de massa de agregados observaram-se maiores quantidades de macroagregados nos tratamentos com DLS_I e DLS_S , contudo não houve diferenças nas primeiras duas camadas (0-5 e 5-10 cm) entre as duas formas de aplicação dos DLS, mas na camada de 10-20 cm, o DLS_S apresentou maior quantidade de macroagregados. Os maiores teores de COT e NT foram registados na TFSA e nos macroagregados para o tratamento DLS_I se comparados com o DLS_S . O CO_p foi maior no tratamento DLS_I (0-5 cm), e não diferiu entre os tratamentos nas outras duas camadas. Porém, o CO_{am} foi maior no tratamento DLS_I nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. O DLS_I registou maiores valores para NO_p nas camadas de 0-5 e 5-10 cm e NO_{am} nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. A MOL foi maior nos tratamentos DLS_I e NPK (0-5 cm), enquanto que na camada intermediária (5-10 cm), o tratamento DLS_I apresentou maior quantidade. Os teores de C e N na MOL foram maiores para DLS_I nas camadas 0-5 e 5-10 cm se comparados com DLS_S . A abundância natural de ^{13}C foi maior nos macroagregados, enquanto que para ^{15}N o maior valor foi registado nos microagregados na camada de 10-20 cm. Após sete aplicações de DLS na sucessão milho/aveia/trigo pode-se inferir que a aplicação do DLS_I melhorou os atributos físicos do solo.

Palavras chaves: Macroagregados. Matéria orgânica leve. Injeção de dejetos suínos. Sistema plantio direto.

ABSTRACT

The application of liquid pig slurry (LPS) in the soil can influence total organic carbon (TOC) and total nitrogen (NT), as well as soil aggregation. This work aimed to evaluate the influence of the mode of application (superficial and injected) of LPS on organic matter fractions and soil aggregate stability. Four treatments with four replications were used: liquid pig slurry injected into the soil (LPSI), liquid pig slurry applied to the soil (LPSS), chemical fertilization (NPK) and control without fertilization (TEST). The stability of aggregates (geometric mean diameter - GMD and mass distribution of aggregates) were evaluated; the TOC, NT content in the fine dry air (TFSA) and in the macro and microaggregates; mass of light organic matter (MOL) and contents of C and N in MOL; the labile fractions of OM and the ^{13}C and ^{15}N isotopes in the layers of 0-5, 5-10 and 10-20 cm. Evaluating the two forms of LPS application, the LPSI showed better results in the stability of aggregates, presenting higher GMD in the layers of 0-5 and 5-10 cm. However, there were no differences in the first two layers (0-5 and 5-10 cm) between the two forms of LPS application, but in the layer of 10-20 cm, the LPSS showed a greater amount of macroaggregates. The highest TOC and NT levels were recorded in the TFSA and in the macroaggregates for the LPSI treatment when compared to the LPSS. The organic particulate carbon (OpC) was higher in LPSI treatment (0-5 cm), and did not differ between treatments in the other two layers. However, organic carbon associated with minerals OC_{am} was higher in LPSI treatment in the 5-10 and 10-20 cm layers. The LPSI recorded higher values for organic particulate nitrogen (OpN) in the 0-5 and 5-10 cm layers and organic nitrogen associated with minerals (ON_{am}) in the 5-10 and 10-20 cm layers. MOL was higher in the LPSI and NPK treatments (0-5 cm), while in the intermediate layer (5-10 cm), the LPSI treatment presented higher amounts. The contents of C and N in MOL were higher for LPSI in layers 0-5 and 5-10 cm compared to LPSS. The natural abundance of ^{13}C was higher in the macroaggregates, while for ^{15}N the highest value was recorded in the microaggregates in the 10-20 cm layer. After seven applications of LPS in the corn / oats / wheat succession it can be inferred that the LPSI application improved the soil physical attributes.

Key words: Macro-aggregates. Light organic matter. Injection of swine manure. No-till system.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Equipamento desenvolvido pela empresa MEPEL para a injeção de dejetos líquidos de animais em subsuperfície, sob condições de sistema de plantio direto.....29
- Figura 2.** Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG, mm) em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.....36
- Figura 3.** Distribuição das classes de agregados em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral em diferentes camadas.....38

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Calendário de atividades durante o período experimental.....28
- Tabela 2.** Principais características dos dejetos líquidos de suínos (DLS) (dados expressos em base úmida), dose de DLS e quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicadas com os dejetos e com o fertilizante mineral em cada cultura.....30
- Tabela 3.** Produtividade de milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de suínos no solo em sistema de plantio direto.....31
- Tabela 4.** Produtividade da aveia e do trigo após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de suínos no solo em sistema de plantio direto.....31
- Tabela 5.** Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) para terra fina seca ao ar (TFSA) e nos macro e microagregados.....41
- Tabela 6.** Teores de carbono e nitrogênio particulado (COp e NOp) e de carbono e nitrogênio associado aos minerais (COam e NOam) em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.....44
- Tabela 7.** Quantidade de massa de matéria orgânica leve (MOL) e teores de carbono e nitrogênio contidos na massa da MOL em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.....46
- Tabela 8.** Valores de abundância natural de ^{13}C e ^{15}N em macro e microagregados do solo em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.....48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Al – Alumínio
C – Carbono
Ca – Cálcio
Cfa – Classificação climática de Köppen-Geiger
cm – centímetro
 cmolcdm^{-3} – Centímol de carga por decímetro cúbico
COam – Carbono orgânico associado aos minerais
COp – Carbono orgânico particulado
COT – Carbono orgânico total
CQFS – Comissão de química de fertilidade do solo
Cu – Cobre
CV – Coeficiente de variação
DCD – inibidor de nitrificação dicianodiamida
DLS – Dejeito líquido de suíno
 DLS_I – Dejeito líquido de suíno injetado
 DLS_S – Dejeito líquido de suíno superficial
DMG – Diâmetro médio geométrico
DMP – Diâmetro médio ponderado
g – grama(s)
 g kg^{-1} – Grama por quilograma
 g L^{-1} – Grama por litro
ha – Hectare(s)
K – Potássio
L – Litro(s)
m – Metro(s)
Mg – Magnésio
Mg – Megagrama
 mg dm^{-3} – Miligramas(s) por decímetro cúbico
 Mg ha^{-1} – Megagrama por hectare
mL – mililitro(s)
mm – Milímetros
MO – Matéria orgânica
MOL – Matéria orgânica leve
 mol L^{-1} – Mol por litro
MOS – Matéria orgânica do solo
N – Nitrogênio
NAT – Nitrogênio amoniacal total
NOam – Nitrogênio orgânico associado aos minerais
NOP – Nitrogênio orgânico particulado

NPK – Nitrogênio, fósforo e potássio
NT – Nitrogênio total
°C – Graus centígrados
P – Fósforo
pH H₂O – Potencial hidrogeniônico em água
SPD – Sistema de plantio direto
TEST – Testemunha
TFSA – Terra fina seca ao ar
TRAT – Tratamento
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
Zn – Zinco

SUMÁRIO

1	APRESENTAÇÃO	13
2	INTRODUÇÃO	14
3	HIPÓTESE	15
4	OBJETIVOS	16
4.1	Objetivo geral	16
4.2	Objetivos específicos	16
5	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
5.1	Uso de dejetos suínos na agricultura.....	16
5.2	Matéria orgânica e sistemas de uso do solo: influência nos atributos químicos e físicos do solo	18
5.3	Frações granulométricas da matéria orgânica e composição isotópica	23
5.3.1	Frações granulométricas da MOS	23
5.3.2	Composição isotópica de ¹³ C e ¹⁵ N.....	24
6	MATERIAL E MÉTODOS	27
6.1	Descrição do local de estudo e dos tratamentos utilizados ...	27
6.2	Coleta de amostras de solo e análises realizadas	32
6.2.1	Análises físicas	32
6.2.2	Análises químicas	33
6.3	Análises Estatísticas.....	34
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
7.1	Estabilidade dos agregados do solo	35
7.2	Teores de carbono e nitrogênio na TFSA do solo e nos macro e microagregados	40
7.3	Frações granulométricas da matéria orgânica do solo	43
7.4	Matéria orgânica leve em água	45
7.5	Abundância natural de carbono e nitrogênio nos macro e microagregados	47
8	CONCLUSÃO	50
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	51
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

1 APRESENTAÇÃO

Este estudo surge no âmbito de dois outros estudos que foram conduzidos a campo na Universidade Federal de Santa Maria, em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico, em delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições dos seguintes tratamentos: dejetos líquidos de suínos aplicados na superfície do solo (DLS_S), DLS_S + DCD (inibidor de nitrificação dicianodiamida), DLS injetados (DLS_I), DLS_I + DCD, testemunha e adubação mineral (NPK) em superfície.

Os estudos iniciaram em dezembro de 2011 com a aplicação dos tratamentos nas culturas do milho, aveia e trigo, sendo o primeiro finalizado em junho de 2013 e o segundo em dezembro de 2015. Esses estudos foram feitos no âmbito da tese de doutorado de Rogério Gonzatto, que tinha como objetivo, avaliar como o modo de aplicação (injeção subsuperficial *vs* aplicação superficial) de DLS no solo em sistema de plantio direto (SPD) e a adição de DCD aos DLS afetam a recuperação do N amoniacal ($N-NH_4^+$) dos DLS no sistema solo-planta, na eficiência do uso de nitrogênio (EUN) e na produtividade em uma sucessão de gramíneas (milho/aveia-trigo).

Entretanto, havendo necessidade de se expandir as áreas de investigação desse modo de aplicação de dejetos (subsuperficial e superficial) sobre alguns parâmetros físicos do solo e da matéria orgânica, o presente estudo avaliou a agregação do solo e algumas frações da matéria orgânica. Aliar os dados que foram alcançados até o momento com os obtidos neste estudo, principalmente na avaliação dos teores de carbono e nitrogênio associados aos agregados do solo, poder-se-á incrementar o conhecimento sobre a dinâmica desses elementos, avaliando as duas formas de aplicação dos dejetos no solo.

2 INTRODUÇÃO

A região Sul do Brasil tem destaque nacional na produção de suínos, com um rebanho de 8.442.850, 6.448.514 e 5.927.862 de cabeças, respectivamente, para os estados de Santa Catarina, Paraná e Rio Grande do Sul (IBGE, 2016). Todavia, esta atividade de importância econômica e social, gera grandes volumes de dejetos, os quais são manejados principalmente na forma líquida e armazenados em esterqueiras anaeróbicas. A geração desses dejetos pelos animais é inerente ao processo produtivo, sendo o seu adequado manejo e sua reintrodução ao sistema agropecuário com o menor impacto sobre o ambiente essencial para o sucesso e manutenção da produção de suínos na região.

As aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos (DLS) na superfície do solo e sem incorporação, como ocorrem no sistema de plantio direto (SPD) pode resultar em perdas significativas de nitrogênio (N) amoniacal, por meio da volatilização de amônia e da emissão de N_2O para a atmosfera (NDEGWA et al., 2008; ZAMAN et al., 2009). Entretanto, têm-se outros aspectos decorrentes do uso agrícola dos DLS, tais como a adição ao solo de carbono solúvel, água e N-mineral, os quais podem interferir nos processos de formação e estabilidade dos agregados do solo, e também nos estoques de carbono (C) e nitrogênio (N) (YAGÜE et al., 2012; LOSS et al., 2017).

A estabilidade de agregados é um importante indicador da susceptibilidade do solo aos processos erosivos, pois está associado a estrutura porosa do solo e ao movimento de água por esses poros (BARTHÈS e ROOSE, 2002). Ainda são incipientes os estudos realizados para estudar os efeitos da combinação da fertilização orgânica com o preparo reduzido do solo sobre a agregação e a estabilidade de agregados (WHALEN et al., 2003; MIKHA e RICE, 2004; JIAO et al., 2006; BOTTINELLI et al., 2017; LOSS et al., 2017).

O estudo realizado na França por BOTTINELLI et al. (2017) destaca que o preparo reduzido do solo associado a aplicação de fertilizantes orgânicos pode contribuir para o incremento da estabilidade dos agregados do solo. No Brasil, LOSS et al. (2017) ao avaliarem o solo de um local que recebeu aplicações de dejetos de suínos em SPD durante 10 anos, mostraram que além do incremento nos teores de C e N totais do solo, a formação de agregados biogênicos é favorecida quando comparada a de agregados fisiogênicos em áreas com histórico de aplicação de dejetos suínos.

Além disso, é conhecido também que a aplicação de dejetos suínos ao solo pode causar alterações nos atributos químicos

(LOURENZI et al., 2013; HE et al., 2015; MERGEN JUNIOR et al., 2019), físicos (COMIN et al., 2013; ANDRADE et al., 2016) e biológicos (COUTO et al., 2013; GIACOMINI et al., 2013) do solo. Alguns trabalhos mostraram que a aplicação de dejetos suínos na superfície do solo provocou mudanças em alguns atributos, com destaque para o aumento dos teores de carbono orgânico total (BRUNETTO et al., 2012; COMIN et al., 2013; MAFRA et al., 2014; HE et al., 2015), e nitrogênio total (GIACOMINI e AITA, 2008; GIACOMINI et al., 2013; HE et al., 2015), e melhorias na agregação do solo (YAGÜE et al., 2012; COMIN et al., 2013; LOSS et al., 2017).

Por outro lado, é consenso que existem poucos estudos sobre a dinâmica de agregação do solo e o acúmulo de C e N nos agregados após a aplicação de dejetos suínos nas condições de solo e clima do Brasil. Esse cenário se intensifica quando o modo de distribuição dos dejetos no solo se afasta da tradicional aplicação superficial e passa para alternativas de manejo como a injeção subsuperficial dos dejetos no solo.

Apesar dos avanços já alcançados pela pesquisa em estudos com a injeção subsuperficial de dejetos animais no solo (GONZATTO et al., 2017; AITA et al., 2018), seus resultados ainda são incipientes e pouco conclusivos no País, deixando uma lacuna no conhecimento quanto a avaliações dos atributos relacionados a agregação do solo e as frações da matéria orgânica do solo (MOS).

No Brasil, especialmente na região Sul, há um aumento no interesse por encontrar práticas de manejo de dejetos suínos que sejam compatíveis com o SPD e de menor impacto sobre o ambiente. Assim sendo, é importante entender a influência do uso de DLS aplicados superficialmente e injetados no solo sobre as frações da MOS, na estabilização dos agregados do solo e no fornecimento de nutrientes, de modo a definir estratégias de manejo dos dejetos suínos que visem a manutenção e, ou, melhoria da qualidade do solo.

3 HIPÓTESE

- A injeção de dejetos líquidos de suínos (DLS) no solo sob sistema plantio direto é mais eficiente em melhorar os atributos químicos e físicos do solo em comparação aos DLS aplicados superficialmente.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo geral

- Avaliar a influência do modo de aplicação (superficial e injetada) de dejetos líquidos de suínos sobre as frações granulométricas da matéria orgânica e na estabilidade dos agregados do solo e comparar com áreas sem adubação e com adubação mineral.

4.2 Objetivos específicos

- Avaliar o índice de estabilidade dos agregados e a distribuição da massa dos agregados em classes de diâmetro.

- Determinar os teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) do solo nos agregados e na terra fina seca ao ar (TFSA).

- Quantificar a massa da matéria orgânica leve (MOL) em água, bem como os teores de C e N na massa da MOL.

- Realizar o fracionamento granulométrico da matéria orgânica do solo, e quantificar os teores de C e N de cada fração granulométrica.

- Avaliar a composição isotópica de ^{13}C e ^{15}N nas classes de agregados do solo.

5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

5.1 Uso de dejetos suínos na agricultura

Diante da expectativa de crescimento da demanda em um ambiente com recursos naturais finitos, crescentes requerimentos legais ambientais pressionam a produção agrícola pela busca contínua por processos mais intensivos e sustentáveis, o que consolida essa megatendência (EMBRAPA, 2018).

Uma das formas para responder a essa demanda e garantia da sustentabilidade agrícola, bem como ambiental, é o uso de dejetos animais, com enfoque para os dejetos gerados na produção suína, que de acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal, registrou um grande aumento na produção de carne suína, que passou de 705 mil toneladas, em 1970, para 3,7 milhões de toneladas em 2017, consolidando o Brasil como o quarto maior produtor e exportador mundial de carne suína (EMBRAPA, 2018).

O sistema tradicional de tratamento de dejetos de suínos utilizado na região Sul do Brasil (esterqueiras, bioesterqueiras e lagoas

anaeróbias), se baseia em conduzir os dejetos da área de criação dos animais (galpões), através de tubulações ou canaletas, para um depósito (geralmente lagoas), onde os dejetos permanecem por determinado período de tempo para sofrer fermentação anaeróbia, sendo posteriormente transportados com máquinas até as lavouras (SCHERER et al., 1996).

A geração de dejetos sempre será uma constante, e o contínuo crescimento da produção de suínos faz com que seja analisado através dos aspectos relacionados à distribuição ou na forma de manejo dos mesmos, para que se possa minimizar o impacto ambiental ocasionado por essa produção (KRAJESKI e POVALUK, 2014).

Apesar do potencial poluidor da suinocultura (CABRAL et al., 2011; SILVA et al., 2015, MELLER, 2007), a utilização dos dejetos de suínos como fonte de nutrientes ao sistema de produção agrícola torna-se uma prática agrícola ambientalmente correta, desde que obedecidos os critérios técnicos de recomendação para sua aplicação no solo (CORRÊA et al., 2011). Dentre as alternativas possíveis, aquela de maior receptividade pelos agricultores tem sido a utilização como fertilizante, por ser a de mais fácil operacionalização na propriedade (SEGANFREDO, 1999).

Os dejetos suínos contêm macro e micronutrientes, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre e outros, que podem contribuir para redução da aplicação de fertilizantes nas lavouras (CABRAL et al., 2011; KONZEN e ALVARENGA, 2005; KRAJESKI e POVALUK, 2014). Num estudo realizado por DE SOUZA GALLO et al. (2015), verificou-se que o uso de dejetos líquidos de suínos proporcionou incremento no desenvolvimento das plantas de feijoeiro no que diz respeito à altura e a massa seca da parte aérea, bem como na produtividade da cultura.

Analisando diferentes fertilizantes orgânicos (bagaço de cana-de-açúcar, casca de café, esterco bovino, dejetos suínos, pseudocaule de bananeira, húmus de minhoca e lodos de águas residuárias da suinocultura), SEDIYAMA et al. (2016) observaram que o fertilizante orgânico produzido com bagaço de cana-de-açúcar + pseudocaule de bananeira + dejetos de suínos foi o mais adequado para a cultura da alface americana 'Kaiser', tendo em vista a maior produtividade e a maior quantidade de nutrientes exportados pelas plantas.

A utilização de DLS representa uma das alternativas entre as formas de adubação orgânica para o fornecimento de nutrientes ao solo, tendo efeitos diretos e indiretos na produção das culturas, podendo ser utilizada na adubação de grãos, fruticultura, pastagens, reflorestamento e mesmo para recuperação de áreas degradadas (MENEZES et al., 2002;

SCHERER et al., 1996; SEGANFREDO, 2007). A adubação orgânica promove alterações nos estoques de C e N e na qualidade da MOS que, indiretamente, geram alterações de diferentes magnitudes nas propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos (SILVA et al., 2012).

Além do benefício como fonte de nutrientes, o uso de dejetos suínos no solo adiciona matéria orgânica que pode melhorar o ambiente para o desenvolvimento da flora microbiana do solo, deste modo, mantendo os estoques de MOS, minimizando os efeitos adversos da emissão do C e N para a atmosfera (QUADRO et al., 2011; SILVA et al., 2012). Diversas pesquisas têm demonstrado a eficácia dos dejetos suínos em melhorar as propriedades físicas do solo (COMIN et al., 2013; OLIVEIRA et al., 2016; LOSS et al., 2017).

Com o objetivo de avaliar/quantificar as alterações na densidade, porosidade e condutividade hidráulica saturada em Nitossolo Vermelho Distroférico pela operação de injeção de dejetos líquidos de suínos e plantio direto do solo, RECH et al. (2013), observaram ocorrência de alterações nos poros maiores, ocasionados pela injeção dos DLS, favorecendo o fluxo de água no solo.

5.2 Matéria orgânica e sistemas de uso do solo: influência nos atributos químicos e físicos do solo

A MOS faz parte do equilíbrio dos ciclos do C e do N e o seu teor encontra-se estável em solo sob vegetação natural, controlando as propriedades-chaves do solo, em particular, aquelas associadas à disponibilidade de nutrientes como um todo, à capacidade de retenção hídrica, e à fertilidade que a torna importante (BORTOLON et al., 2009; TRUMBORE e CAMARGO, 2009).

Os estoques de C e N de um solo dependem da quantidade de resíduos animais ou vegetais aportados anualmente, da taxa de conversão desses resíduos em MOS e da taxa de mineralização da MOS (DORTZBACH et al., 2013).

A MOS constitui o maior estoque de carbono de todos os ecossistemas terrestres e a biomassa microbiana, que possui estreita relação com os componentes físicos e químicos do solo (ADUAN et al., 2003), sendo que o potencial de incremento de C no solo ocorre pelo constante aporte de resíduos vegetais e reciclagem radicular, que regula os níveis de MO, bem como pela redução das taxas de decomposição da MOS nos agroecossistemas (BARRETO et al., 2008; MAFRA et al., 2014).

Os principais responsáveis por esses processos são os microrganismos do solo (fungos e bactérias), algas e microfauna, cuja massa ou biomassa microbiana está permanentemente em renovação, obtendo a energia da MO, atuando assim como fonte e dreno (mineralização/imobilização temporária) dos nutrientes necessários ao desenvolvimento das plantas (FERREIRA et al., 2007).

Alguns tipos de mudanças do uso das terras e práticas de manejo inadequadas podem favorecer a diminuição dos estoques de C e N do solo através da maior taxa de mineralização da MOS, tais como o sistema de preparo convencional (SPC) do solo (CERRI et al., 2017). Entretanto, quando se tem a conversão do SPC para o SPD, com o uso de plantas de coberturas e adubos orgânicos, tem o aumento dos estoques de C e N.

MUNIZ et al. (2015) trabalhando num Latossolo Amarelo, no SPD de milho, verificaram o aumento de estoque de carbono no solo. SOUZA e MELO (2000), avaliando o efeito de sistemas de produção sobre a dinâmica do N no solo e nas frações da matéria orgânica, concluíram que a mudança do SPC para SPD causou elevação na quantidade de nitrogênio potencialmente mineralizável em mais de 80%, com pousio no inverno, e quase 50%, quando da adoção de rotação de culturas entre o milho e a soja.

O preparo do solo, especialmente o convencional, com arados e grades, aumenta a oxidação do C e a mineralização do N pela incorporação dos resíduos, pela quebra dos agregados e pelo aumento da aeração do solo (PEDRA et al., 2012).

Essa diminuição no estoque de N orgânico, somada às inúmeras transformações de natureza bioquímica a que o N está sujeito (mineralização, imobilização, desnitrificação, entre outros) e à grande quantidade exigida pela maioria das culturas, tornam-no o nutriente mais limitante ao desenvolvimento das plantas, razão pela qual o seu manejo é bastante complexo (BORTOLON et al., 2009).

A redução dos danos ocasionados pelo mau uso do solo pode ser alcançada utilizando-se o SPD que modifica o comportamento dos atributos físicos, químicos e biológicos do solo, com o acúmulo de nutrientes na superfície, melhorando a agregação e aumentando a biota do solo (LOSS et al., 2015; LANGE et al., 2008; FREIRE et al., 2001).

SEIDEL et al. (2010) notaram que a aplicação de dejetos de suínos como adubação de base foi igual na produção de grãos de milho, quando comparada com a adubação química (NPK), demonstrando sua eficácia na produtividade da cultura do milho em SPD. Resultados semelhantes foram encontrados por MORAES et al. (2014). Num outro estudo realizado por LIU et al. (2014) com diferentes usos de terra (sob

pastagens, áreas florestais e sistemas agrícolas), verificaram que o preparo convencional do solo ocasionou a quebra dos agregados, e também acelerou a decomposição dos resíduos vegetais, afetando fortemente a quantidade de entrada de biomassa no solo.

BUSO e KLIEMANN (2003) num trabalho que tinha como objetivo o estudo das relações do C e N, verificaram que os teores de COT e NT no solo foram significativamente afetados pelos seus sistemas de uso e manejo. PEDRA et al. (2012) verificaram maiores estoques de C e N em SPD e cultivo mínimo, em comparação ao SPC.

A MOS é considerada um dos indicadores mais úteis de qualidade do solo, pois sua interação com diversos componentes do solo exerce efeito direto e indireto na retenção de água no solo, formação de agregados, densidade do solo, pH, capacidade tampão, capacidade de troca catiônica, mineralização, sorção de pesticidas e outros agroquímicos, infiltração, aeração e atividade microbiana (ROSCOE et al., 2006; ABBRUZZINI, 2011).

CONCEIÇÃO et al. (2005), num trabalho que teve como objetivo principal, avaliar o potencial da MOS e de atributos relacionados as alterações da qualidade do solo induzidas pela adoção de sistemas de manejo, observaram no SPD o maior incremento no estoque de COT na camada superficial. Resultados semelhantes foram encontrados por AGNE e KLEIN (2014), quanto ao teor de MOS, que foi devido a deposição superficial dos resíduos vegetais e a maior concentração de raízes.

A relação entre a agregação do solo e a MOS já foi alvo de muitos estudos, que identificaram, além da fração mineral, a fauna do solo, microrganismos, raízes, agentes inorgânicos e variáveis ambientais como os principais fatores envolvidos na formação e estabilidade de agregados do solo, que atuam como agentes cimentantes unindo as partículas do solo (SIX et al., 2004; SALTON et al., 2008; VICENTE et al., 2012).

A MOS favorece a formação dos agregados do solo, os quais possuem escalas de tamanho variado, sendo <250 µm para microagregados e >250 µm para macroagregados (BALDOCK e SKJEMSTAD, 1999).

CASTRO FILHO et al. (2003), avaliando o potencial fertilizante dos DLS e as alterações nas propriedades físicas de solos de diferentes classes texturais, verificaram que a aplicação de doses crescentes proporcionou melhoria na agregação do solo, o que os autores atribuíram ao aumento no teor de carbono orgânico no solo, que resultou em aumento na taxa de infiltração de água.

Os agregados podem ser considerados os componentes básicos da estrutura do solo, sendo importante para a produtividade da planta, pois a estrutura agregada pode influenciar a resistência do solo e a resistência mecânica ao surgimento e ao crescimento das raízes e da população microbiana, aeração do solo, controle da erosão, infiltração de água, capacidade de retenção de água e densidade do solo (OADES, 1984; MURPHY, 2014).

A estabilidade dos agregados do solo é muito dependente de microagregados estáveis, pois a existência de microagregados estáveis é importante para o desenvolvimento de macroagregados estáveis (MURPHY, 2014). Por outro lado, a formação de macroagregados desempenha um papel importante no desenvolvimento dos microagregados estáveis, uma vez que os macroagregados fornecem um ambiente para a acumulação de polissacarídeos e materiais húmicos para estabilizar os microagregados contidos dentro dos macroagregados (OADES, 1984).

Os macroagregados muitas vezes contêm mais carbono orgânico do solo do que microagregados (PUGET et al., 1995; SIX et al., 2000), sendo que o grau de decomposição aumenta com a diminuição do tamanho do agregado, como demonstrado pela diminuição da relação C/N de cerca de 20 para 8, à medida que o tamanho do agregado diminui (AOYAMA et al., 1999; GREGORICH et al., 2003).

O tamanho dos agregados do solo é geralmente inversamente proporcional à quantidade de energia necessária para os interromper e o tempo de rotatividade aumenta com a diminuição do tamanho agregado (STEWART et al., 2007). A partir da relação entre a estabilidade dos complexos organominerais (proporcional à energia de ultrassom para dispersão) e as variáveis de solo, pode-se verificar que o teor de carbono orgânico é bastante importante para a estabilidade dos complexos organo-minerais (BRAIDA et al., 2011).

A adição de dejetos animais geralmente aumenta o teor de MOS, com a magnitude do aumento principalmente determinado pelo clima, pelo tipo de solo e pelas características do dejetos, e este aumento da matéria orgânica tem efeitos de longo alcance sobre as propriedades do solo, considerando-se a agregação como um exemplo (WHITBEARD, 1996).

Avaliando a agregação do solo sob cultivo de aveia/milho em sistema plantio direto adubado com dejetos suínos e adubação química, FERREIRA et al. (2016) concluíram que o uso de dejetos suínos durante dois anos em solo de textura média aumentou a formação de macroagregados, culminando em maiores índices de diâmetro médio ponderado (DMP) em relação ao tratamento com NPK, e maiores de

diâmetro médio geométrico (DMG) em relação à NPK e a Test, ambos na profundidade de 5-10 cm. Em outro estudo, CASTRO FILHO et al. (2003) verificaram que a aplicação de doses crescentes de DLS em solos argilosos de diferentes classes texturais proporcionou melhoria na agregação do solo.

Os principais constituintes dos dejetos suínos são matéria orgânica e nutrientes, destacando o nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre (SEGANFREDO, 2000; SILVA et al., 2015) e boro, sendo que os teores de nutrientes na massa seca do DLS variam muito, mas, em média, estão em torno de nitrogênio (N) 3%; fosfato (P_2O_5) 4% e potássio (K_2O) 4% (MIYAZAWA e BARBOSA, 2015).

A aplicação contínua ou sucessivas aplicações de DLS como fertilizante em áreas agrícolas pode modificar os atributos químicos e a estabilidade dos agregados do solo (LUZ et al., 2015), bem como ocasionar alterações quantitativas e qualitativas nas frações da MOS (LOURENZI et al., 2014).

A MOS desempenha um papel importante na influência da química do solo, sendo um dos principais contribuintes de elementos como N, P e S, bem como outros nutrientes para plantas (SPARKS, 2003; WHITBREAD, 1996).

A eficiência dos dejetos animais como fertilizante é quase tão grande quanto a dos fertilizantes solúveis industrializados (CQFS-RS/SC, 2004). Os dejetos animais contêm teores elevados de matéria orgânica, bem como de nutrientes como N e P, o que favorece a melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, possibilitando seu aproveitamento na agricultura (SCHERER et al., 1996).

A adição de C e N ao solo é afetada por todos os fatores determinantes da produtividade das culturas, sendo um dos fatores de produção, os sistemas de cultura adotados que promovem adição de C e N na medida em que aportam resíduos ao solo (LOVATO, 2001). As aplicações de adubo a longo prazo no solo podem favorecer o acúmulo de nutrientes, como o N e P potencialmente mineralizáveis nos solos, o que significa que os produtores precisam ajustar as taxas de aplicação a cada ano para explicar a liberação de nutrientes do dejetos aplicado em anos anteriores.

Outra consequência desse fenômeno de liberação lenta é que os adubos que contêm uma grande proporção de N-orgânico, como esterco bovino ou cama de aviário, proporcionam menos N-mineral disponível, porque o N-orgânico deve ser mineralizado primeiro (GRAHAM et al., 2010).

A maioria dos fertilizantes orgânicos de origem animal (principalmente os DLS) apresenta baixa relação C/N, e quando associado a materiais com alta relação C/N, podem em conjunto aumentar os estoques de COT. Já em condições onde se aplicam apenas fertilizantes orgânicos com características de baixo teor de matéria seca e de carbono orgânico, pode-se aumentar a atividade microbiana, resultando em maior intensidade de mineralização da MOS e assim apenas manter ou até reduzir os estoques de carbono no solo (ANDRADE, 2013).

5.3 Frações granulométricas da matéria orgânica e composição isotópica

5.3.1 Frações granulométricas da MOS

O estudo da MOS e de suas frações visa obter informações acerca da sua estabilidade e localização na estrutura do solo, bem como sua quantidade e qualidade em sistemas de uso do solo, representando um importante componente da sustentabilidade dos sistemas agrícolas (CARMO et al., 2012; NEVES et al., 2005; PINHEIRO et al., 2004) e os resultados do fracionamento granulométrico da MOS podem contribuir para o entendimento da sua dinâmica em áreas com sistemas de manejo orgânico (LOSS et al., 2009).

Diversos atributos do solo são avaliados para obtenção de uma produção mais sustentável, sendo um desses, o conteúdo de MOS, o qual se apresenta como um importante indicador de qualidade ambiental, sendo representado pelas diversas frações que compõe a MOS, dentre elas, as frações físicas-granulométricas, como o carbono orgânico particulado (CO_p) e carbono associado aos minerais (CO_{am}) (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992; LOSS et al., 2009; MORAIS, 2017).

O fracionamento granulométrico da MOS é baseado no grau de associação da matéria orgânica com a matriz do solo, ou seja, o carbono pode estar livre ou fracamente associado às partículas mais grosseiras do solo (tamanho da fração areia), sendo chamado de CO_p; ou estar fortemente ligado às partículas minerais (tamanho argila e silte), formando complexos organo-minerais, sendo chamado de CO_{am} (SCHNITZER, 1986; CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992).

A capacidade de estimar quantitativamente as frações da MOS é importante para a compreensão da dinâmica da MOS no manejo de sistemas intensivos (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992; CONCEIÇÃO et al., 2013; GAZOLLA et al., 2015).

De acordo com os estudos relacionados com as frações granulométricas da MOS, nota-se que há maior proporção de carbono das frações não lábeis, no caso o COam, em comparação com as frações mais lábeis, no caso o COP.

O uso de sistemas de manejo conservacionistas, tais como o SPD por vários anos, podem contribuir para maiores teores de COam, porque as alterações dos teores e estoques de COam têm sido associados a manejos de mais longo prazo, acompanhadas da humificação da matéria orgânica lábil e de sua maior interação com componentes mineralógicos das frações silte e argila (LIMA et al., 2016).

Avaliando a influência da matéria orgânica nos valores do limite de liquidez (LL) e plasticidade (LP) do solo, e na distribuição das frações granulométricas do mesmo, SILVA e MIRANDA (2016) verificaram que a matéria orgânica presente nos solos influencia a distribuição granulométrica nas diferentes frações, especialmente nos solos ricos em frações mais finas, como silte e argila, mascarando o resultado do teor das partículas finas.

LOSS et al. (2009) observaram diferenças entre os sistemas de manejo com adubação orgânica, conduzidos em SPD e SPC para o COam, sendo observados maiores teores de COam no SPD. Segundo os autores, isto provavelmente foi decorrente do uso constante da adubação orgânica, associada ao histórico e tempo de uso de cada área.

Alguns autores relatam correlação negativa existente entre COam e COP, sendo assim para que se tenha maiores teores de COam no solo é necessário que ocorra maior decomposição (diminuição) dos teores de COP para posterior associação com os minerais do solo nos tamanhos de silte e argila (LOSS et al., 2014; LIMA et al., 2016).

A fração lábil apresenta alta taxa de decomposição e um curto período de permanência no solo, e sua principal função é o fornecimento de nutrientes às plantas pela mineralização, além de energia e carbono aos microrganismos do solo (SILVA e MENDONÇA, 2007; CONCEIÇÃO et al., 2013; LIMA et al., 2016).

5.3.2 Composição isotópica de ^{13}C e ^{15}N

O uso de isótopos estáveis obtidos por meio da abundância natural trouxe uma nova dimensão para os estudos relacionados a ecologia vegetal, sendo que nas últimas décadas houve avanços notáveis na compreensão teórica dos processos de discriminação, assim como desenvolvimentos técnicos na espectrometria de massa, levando a um crescimento exponencial em aplicações para sistemas naturais. Sendo assim, dentre as técnicas utilizadas na moderna ecologia vegetal, aquelas

que aplicam isótopos estáveis estão entre as mais utilizadas (MÁGUAS e GRIFFITHS, 2003; ADAMS e GRIERSON, 2001).

As assinaturas isotópicas de carbono e nitrogênio estáveis ($\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$, respectivamente) de plantas e solo podem servir como marcadores não radioativos valiosos e integradores não destrutivos de como as plantas hoje e no passado se integraram e responderam a seus ambientes abióticos e bióticos (WITTMER et al., 2010; SWAP et al., 2004; DAWSON et al., 2002).

Na natureza, existem dois isótopos do C que são estáveis e se encontram em proporções pouco variáveis ao longo do tempo. O ^{12}C é o mais leve e representa a maior proporção em relação ao total de C na natureza (98,89%); já o ^{13}C conta com apenas 1,1% do total e é mais pesado (JESUS, 2017; MÁGUAS e GRIFFITHS, 2003). No processo de decomposição da matéria orgânica observa-se que praticamente não ocorre mudança do sinal de $\delta^{13}\text{C}$ entre o material de origem e a MOS, assim, com base na análise da variação na abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ é possível identificar a origem da MOS (CARVALHO et al, 2017).

Nos ecossistemas naturais, o carbono orgânico do solo é derivado quase exclusivamente dos resíduos de plantas que crescem *in situ*. Nos agroecossistemas, tem pelo menos duas origens: uma é a remanescente da vegetação nativa anterior e a outra são os restos da cultura e das plantas de cobertura e a decomposição de seus resíduos, sendo o isótopo estável ^{13}C empregado para traçar e quantificar os fluxos de C com o intuito de reconstruir a dinâmica da vegetação passada e mudanças no uso das terras, para determinar a respiração microbiana e para estudar a origem e a ciclagem da MOS (BERNOUX et al., 1998; FERNANDEZ et al., 2003).

Analisando a abundância isotópica de ^{13}C em perfis de solo sob plantio de eucalipto, SEVERO (2015) concluiu que a abundância isotópica de ^{13}C indicou a contribuição da vegetação de eucalipto na composição da MOS na camada superficial (0-5 cm) em todas as idades de plantio, influenciando em todo o perfil do solo após 21 anos de cultivo de modo similar ao que aconteceu na área de regeneração natural com espécies arbóreas de mesmo tempo de cultivo.

CARVALHO et al. (2017) trabalhando em áreas de floresta, detectaram mudanças ocorridas nos atributos físicos e químicos do solo ao longo do tempo entre as duas áreas de estudo (povoamento de eucalipto *Corymbia citriodora* e Floresta Estacional Semidecidual), além de que o sinal isotópico de $\delta^{13}\text{C}$ da vegetação que antes ocupava as áreas de plantio de monocultura com eucalipto era semelhante ao encontrado na área de Floresta Estacional Semidecidual.

Técnicas envolvendo materiais marcados com ^{15}N permitem separar o N do material orgânico, ou do fertilizante, do N do solo que é aproveitado (ou recuperado) pela planta (INÁCIO, 2015). O estudo do N na agricultura sempre foi de extrema relevância, pela sua importância na nutrição de plantas e sua alta mobilidade nos ecossistemas, neste sentido, os estudos com ^{15}N , especialmente em abundância natural, são uma ferramenta de pesquisa que traz informações importantes sobre a dinâmica do N nos agroecossistemas e ecossistemas naturais.

A composição isotópica de $\delta^{15}\text{N}$ da planta e do solo está relacionada às variáveis ambientais e à disponibilidade de nutrientes e água (MA et al., 2012). Dessa forma, as correlações negativas observadas entre os valores de $\delta^{15}\text{N}$ da planta e a precipitação são um produto da disponibilidade de água e das fontes de N do solo durante o crescimento da planta (HANDLEY et al., 1999).

Avaliando a influência do cultivo do eucalipto e da acácia na abundância natural de ^{15}N em um Argissolo Amarelo, PEGORARO et al. (2016) observaram que os solos cultivados com eucalipto de ciclo curto (7 anos) e longo (24 anos) apresentaram maior abundância natural de ^{15}N , que o solo cultivado com acácia, indicando que o cultivo de leguminosa arbórea (*Acacia mangium*), após monocultivo de eucalipto, reduz o grau de humificação da MOS e aumenta a ciclagem do N no solo, promovendo aumento da labilidade do N-orgânico do solo para as plantas. Ainda de acordo com os autores, a maior abundância natural de ^{15}N verificada no solo cultivado com eucalipto de ciclo curto indicou o avançado estágio de decomposição das frações do N no solo e esteve vinculado ao menor teor de N total, possivelmente, devido à menor qualidade dos resíduos de eucalipto aportados no solo e, maior utilização da MOS nativa pelos microrganismos decompositores.

Resultados semelhantes foram encontrados por COUTO et al. (2017) trabalhando em uma área com sistema agroflorestal e mata nativa, em que notaram que a área de mata nativa apresentou nas camadas superficiais (0,0-0,20 m) maiores valores de $\delta^{15}\text{N}$, demonstrando maior decomposição da MOS.

A abundância natural do isótopo estável de nitrogênio (^{15}N , ^{14}N) tem sido menos utilizada que os isótopos de carbono (^{13}C , ^{12}C) na fisiologia e ecologia das plantas. Problemas analíticos, a menor abundância fracional de ^{15}N do que de ^{13}C na biosfera, a maior complexidade do ciclo N em relação ao ciclo C, e discriminações menos expressas na natureza, são fatores contribuintes (HANDLEY e RAVEN, 1992).

Todavia, o uso dos isótopos estáveis de nitrogênio pode ser útil para elucidar diferenças em áreas com diferentes manejos e, ou,

adubações. Avaliando a abundância natural de ^{15}N em macro e microagregados de áreas de floresta e áreas de cultivo em SPD e SPC por longo prazo, LOSS et al. (2014) verificaram, por meio dos valores de ^{15}N , que as práticas de aração e gradagem no SPC, ao ocasionar a quebra dos agregados, aumentou a taxa de decomposição e mineralização da MOS que estava ocluída nos agregados. E isso refletiu nos valores de ^{15}N , os quais foram mais elevados em relação aos valores encontrados no SPD e na floresta.

6 MATERIAL E MÉTODOS

6.1 Descrição do local de estudo e dos tratamentos utilizados

O experimento foi montado no setor de Suinocultura da Universidade Federal de Santa Maria, RS (29°43' S, 53°43' O, aproximadamente 105 m de altitude). O solo da área foi classificado como Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico (Embrapa, 2013), com textura franca na camada 0-10 cm (192 g kg⁻¹ de argila, 443 g kg⁻¹ de areia e 365 g kg⁻¹ de silte).

As características químicas do solo (0-10 cm) no início do experimento foram as seguintes: pH H₂O 5,9; 20,5 g kg⁻¹ de COT; 1,6 g kg⁻¹ de NT; 6,7 mg dm⁻³ de P disponível (extraído por Mehlich 1); 39,0 mg dm⁻³ de K disponível (extraído por Mehlich 1); 9,8 cmolc dm⁻³ de Ca trocável (extraído por KCl 1 mol L⁻¹); 3,1 cmolc dm⁻³ de Mg trocável (extraído por KCl 1 mol L⁻¹) e 0,0 cmolc dm⁻³ de Al trocável (extraído por KCl 1 mol L⁻¹). O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa2, segundo classificação de Koppen.

Antes da instalação do experimento, a área estava em pousio, cuja vegetação espontânea era constituída predominantemente por capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) até maio de 2010, quando recebeu calagem com 4 Mg ha⁻¹ de calcário dolomítico, que foi incorporado ao solo por aração e gradagem. Após a calagem iniciou-se na área a seguinte sucessão de culturas em SPD: aveia preta (maio a outubro de 2010), milho (novembro de 2010 a abril de 2011) e trigo (junho a novembro de 2011). O experimento iniciou com a aplicação dos tratamentos no milho em 01 de dezembro de 2011 e a partir dessa data se estabeleceu uma sucessão com gramíneas de verão (milho) e de inverno (aveia ou trigo) até dezembro de 2015, conforme consta na Tabela 1.

Tabela 1. Calendário de atividades durante o período experimental.

Operações	Milho	Aveia	Milho	Trigo	Milho	Milho	Trigo
-----------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

		2011/12	2012	2012/13	2013	2013/14	2014/15	2015
Aplicação dos dejetos	dos	01 Dez 2011	12 Jun 2012	20 Nov 2012	06 Jun 2013	12 Dez 2013	06 Jan 2015	04 Ago 2015
Semeadura das culturas	das	03 Dez 2011	12 Jun 2012	22 Nov 2012	08 Jun 2013	16 Dez 2013	07 Jan 2015	11 Ago 2015
Aplicação da ureia		03 Dez 2011	12 Jun 2012	20 Nov 2012	06 Jun 2013	12 Dez 2013	06 Jan 2015	04 Ago 2015
Pré-semeadura Cobertura		05 Jan 2012	24 Jul 2012	14 Dez 2012	11 Jul 2013	12 Jan 2014	30 Jan 2015	12 Set 2015
Colheita		05 Mai 2012	24 Set 2012	24 Abr 2013	05 Nov 2013	14 Abr 2014	02 Jul 2015	01 Dez 2015

Fonte: Gonzatto (2016)

Os tratamentos foram aplicados em 16 parcelas de 31,5 m² (6 m x 5,25 m), com quatro repetições e delineamento experimental de blocos casualizados. Foram utilizados quatro tratamentos que consistiram em: dejetos líquidos de suínos injetados no solo (DLS_I), dejetos líquidos de suínos aplicados superficialmente no solo (DLS_S), adubação química (NPK) e testemunha sem adubação (TEST). A cada cultura, os tratamentos foram reaplicados sempre nas mesmas parcelas, 1 a 4 dias antes da semeadura.

As doses de dejetos e de NPK foram estabelecidas com base na recomendação de adubação orgânica e mineral da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFSRS/SC, 2004). A dose de DLS foi determinada para fornecer aproximadamente 150 kg de NT ha⁻¹ para o milho (149 - 162 kg de NT ha⁻¹) e de 130 - 150 kg de N total ha⁻¹ para o trigo e aveia (133 - 156 kg de NT ha⁻¹). No tratamento NPK, a aplicação de P e K foi realizada em pré-semeadura, e o N, na forma de ureia foi parcelado, um terço em pré-semeadura e dois terços em cobertura.

Nos tratamentos com aplicação dos DLS em superfície, esta foi realizada manualmente com regadores com capacidade de 10 L, enquanto que a injeção subsuperficial dos DLS foi feita com equipamento mecânico comercial (Modelo DAOL-i 4000 Tandem, MEPEL), conforme a Figura 1.

Este equipamento injetor tratorizado era composto por um tanque metálico com capacidade de 4.000 L. A injeção era iniciada apenas após o acionamento de um pistão hidráulico responsável por inserir no solo o conjunto de 8 hastes de injeção tipo facão guilhotina (discos de corte e haste sulcadora), localizado na parte traseira do equipamento. A velocidade de operação do conjunto trator-injetor para aplicar a dose de DLS estabelecida foi de 3,7 km h⁻¹, com a tomada de potência do trator funcionando a 540 rotações por minuto. As hastes sulcadoras de 2,0 cm de espessura possuíam ponteira substituível e eram espaçadas de 35 cm entre si e a profundidade de injeção variou de 8 a 11 cm.

Figura 1. Equipamento desenvolvido pela empresa MEPEL para a injeção de dejetos líquidos de animais em subsuperfície, sob condições de sistema de plantio direto.



Fonte: Gonzatto (2016).

Os DLS foram coletados em esterqueira anaeróbica, sendo oriundos de animais em fase de terminação e composto pela mistura de fezes, urina e sobras de alimentação e de água dos bebedouros. As principais características dos DLS e as quantidades adicionadas ao solo de matéria seca, C e N com os dejetos e de NPK no tratamento com adubação mineral são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Principais características dos dejetos líquidos de suínos (DLS) (dados expressos em base úmida), dose de DLS e quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) aplicadas com os dejetos e com o fertilizante mineral em cada cultura.

Características	Milho 2011/12	Aveia 2012	Milho 2012/13	Trigo 2013	Milho 2013/14	Milho 2014/15	Trigo 2015
Dejetos líquidos de suínos							
Matéria seca, g L ⁻¹	27,0	37,0	23,0	41,1	23,0	22,8	16,0
C total, g L ⁻¹	7,02	12,81	7,33	10,79	4,02	5,00	2,09
N total, g L ⁻¹	2,99	3,90	3,28	3,76	3,29	2,80	2,60
NAT ⁽¹⁾ , g L ⁻¹	2,35	2,80	2,42	2,75	2,60	2,00	1,80
Ph	8,20	6,10	7,20	6,90	7,60	6,80	8,60
Dose de DLS, m ³ ha ⁻¹	50,0	40,0	49,5	40,0	49,0	58,0	51,0
N total, kg ha ⁻¹	149,5	156,0	162,3	150,4	161,4	162,5	132,6
NAT, kg ha ⁻¹	117,5	112,0	119,8	110,0	127,4	116,0	91,8
P total, kg ha ⁻¹	15,8	22,8	17,7	18,1	22,8	20,6	20,9
K, kg ha ⁻¹	75,1	119,7	173,6	60,8	100,3	85,6	78,1
Fertilizante mineral							
N-ureia ⁽²⁾ , kg ha ⁻¹	130	130	130	120	130	130	110
K ₂ O, kg ha ⁻¹	90	60	90	90	90	90	90
P ₂ O ₅ , kg ha ⁻¹	125	60	125	125	125	125	125

⁽¹⁾NAT = N amoniacal total (NH₃+NH₄⁺). ⁽²⁾Dose total de N-ureia foi dividida 1/3 em pré-semeadura da cultura e 2/3 em cobertura. Fonte: Gozatto (2016).

Os dados médios de produtividade de grãos do milho e do trigo, assim como da matéria seca (MS) do milho, trigo e aveia são apresentados nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Produtividade de milho após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de suínos no solo em sistema de plantio direto.

Tratamento	Produtividade			Tratamento	Produtividade		
	MS	Grãos	Total		MS	Grãos	Total
----- Mg ha ⁻¹ -----			----- Mg ha ⁻¹ -----				
Milho 2011/12			Milho 2012/13				
TEST	9,0	5,9	14,9	TEST	6,5	4,5	10,9
NPK	10,3	9,6	19,9	NPK	10,5	10,6	21,1
DLS _s	10,7	9,8	20,6	DLS _s	10,2	10,5	20,7
DLS _i	12,1	11,0	23,1	DLS _i	10,3	12,7	23,0
Milho 2013/14			Milho 2014/15				
TEST	5,5	3,6	9,1	TEST	5,0	5,2	10,2
NPK	6,7	8,1	14,8	NPK	8,2	8,5	16,7
DLS _s	7,9	8,0	15,9	DLS _s	7,6	8,4	16,0
DLS _i	10,1	8,6	18,7	DLS _i	8,1	8,9	17,1

Fonte: Gonzatto (2016).

Tabela 4. Produtividade da aveia e do trigo após a aplicação superficial e injetada de dejetos líquidos de suínos no solo em sistema de plantio direto.

Tratamento	Produtividade		
	MS	Grãos	Total
----- Mg ha ⁻¹ -----			
Aveia 2012			
TEST	-	-	3,8
NPK	-	-	4,9
DLS _s	-	-	5,3
DLS _i	-	-	5,5
Trigo 2013			
TEST	4,6	2,5	7,1
NPK	6,3	4,0	10,2
DLS _s	5,8	3,8	9,6
DLS _i	6,2	3,9	10,1
Trigo 2015			
TEST	1,4	1,0	2,4
NPK	3,8	1,9	5,7
DLS _s	3,3	1,8	5,1
DLS _i	3,8	1,9	5,7

Fonte: Gonzatto (2016).

O milho foi semeado manualmente, em linhas espaçadas de 70 cm entre si, com uma população esperada de 75.000 plantas ha⁻¹. Em situações de déficit hídrico, a cultura foi irrigada por aspersão. A aveia e o trigo foram semeados mecanicamente com semeadora (Model SHM

1517, Semeato) em linhas espaçadas de 17 cm entre si e uma densidade de aproximadamente 350 plantas m².

6.2 Coleta de amostras de solo e análises realizadas

Em maio de 2016 foram coletadas amostras indeformadas de solo nas parcelas que compunham os quatro tratamentos, com quatro repetições cada. Usando um enxadão e uma pá de corte, foram abertas trincheiras para a coleta de amostras de solo nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm. As amostras foram colocadas em sacos plásticos, etiquetadas e levadas ao Laboratório de Manejo e Classificação de Solos da Universidade Federal de Santa Catarina.

Em seguida, as amostras foram secas ao ar e destorroadas manualmente, seguindo fendas ou pontos de fraqueza, e peneiradas em um conjunto de peneiras de malha de 8,00 mm e 4,00 mm, obtendo-se os agregados do solo, conforme Embrapa (1997). Para a obtenção da Terra Fina Seca ao Ar (TFSA), o material que se desprende da amostra indeformada durante a separação dos agregados nas peneiras de 8,00 e 4,00 mm, foi seco ar, destorroadado e passado em peneira de 2,00 mm para obtenção da TFSA.

6.2.1 Análises físicas

a) Estabilidade dos agregados

Dos agregados retidos na peneira de 4,00 mm, foram pesados 25 g e transferidos para uma peneira de 2,00 mm, compondo um conjunto de peneiras de malhas decrescentes, com os seguintes diâmetros: 2,00; 1,00; 0,50; 0,25; 0,106 e 0,053 mm, conforme metodologia descrita em EMBRAPA (1997). Os agregados foram colocados na peneira de 2,00 mm e umedecidos com borrifador de água, permanecendo 5 minutos, antes da submissão do conjunto de peneiras à tamisação vertical via úmida por 15 minutos no aparelho de Yoder (YODER, 1936).

Transcorrido esse tempo, o material retido em cada peneira foi retirado, separado com jato d'água, colocado em placas de pétri previamente pesadas e identificadas, e levado à estufa de circulação de ar, à 60°C, até a obtenção de massa seca constante. A partir da massa seca dos agregados foram calculados o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados, segundo EMBRAPA (1997). Ainda, com a massa dos agregados, em cada peneira, foi avaliada a sua distribuição nas seguintes classes de diâmetro médio, conforme COSTA JUNIOR et

al. (2012): $8,00 > \emptyset \geq 2,0$ mm (macroagregados); $2,0 > \emptyset \geq 0,25$ mm (mesoagregados) e $\emptyset < 0,25$ mm (microagregados).

6.2.2 Análises químicas

Para a determinação dos atributos químicos e frações da MOS, utilizaram-se a massa seca de macroagregados ($8,00 > \emptyset \geq 0,25$ mm) e microagregados ($\emptyset < 0,25$ mm). Esse material foi destorroado e passado por peneira de 2,00 mm de malha para obtenção da TFSA dos agregados. Neste material (TFSA dos agregados do solo) e na TFSA do solo que se desprende durante a separação dos agregados, foram feitas as seguintes análises:

a) Determinação dos teores de carbono e nitrogênio na TFSA do solo e dos agregados

Os teores de COT e NT foram determinados em analisador elementar de combustão seca (modelo FlashEA 1112 Thermo Finnigan) no Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) - Santa Maria (RS).

b) Determinação da composição isotópica ^{13}C e ^{15}N nos macro e microagregados

Foram realizados com auxílio de um auto-analisador elementar acoplado a um espectrômetro de massa “Carlo Erba/Delta Plus” no Laboratório de Pesquisa em Biotransformações de Carbono e Nitrogênio (LABCEN) - Santa Maria (RS). Os resultados da variação isotópica do C foram expressos na forma $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em relação ao padrão internacional PDB (Pee Dee Belemnite), e para o N na forma $\delta^{15}\text{N}$ (‰) em relação ao ar atmosférico (0,3663 ‰).

c) Fracionamento Granulométrico da MOS

Para o fracionamento granulométrico da MOS seguiu-se a metodologia descrita por Cambardella e Elliott (1992), na qual foram utilizados 20 g de massa de TFSA do solo e 60 mL de solução de hexametáfosfato de sódio (5 g L^{-1}), sendo as amostras agitadas durante 15 horas em agitador. A seguir, a suspensão foi passada em peneira de 53 μm com auxílio de jato de água. O material retido na peneira, que consiste no carbono e o nitrogênio orgânico particulado (COP/NOp), foi seco em estufa a 60°C, quantificado em relação a sua massa, moído em gral de porcelana, passado por peneira de 100 mesh (150 μm) e

analisado em auto-analisador a 900°C (CHN - 600 Carlo Erba EA - 1110, Itália), em Piracicaba, SP. O material que passou pela peneira de 53 µm, que consistiu no C e N orgânico associado aos minerais (COam/NOam) foi obtido por diferença entre o COT/NT e COp/NOp.

d) *Matéria orgânica leve em água (MOL)*

Foram pesados 50 g de massa TFSA do solo e acondicionados em beckeres de 250 mL, adicionando-se 100 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, deixando-se em repouso por uma noite. Decorrido o tempo, a suspensão foi agitada com bastão de vidro e todo o material passado por peneira de 0,25 mm, eliminando-se toda a fração argila e silte (Anderson e Ingram, 1989). Posteriormente, o material retido na peneira (MOL e areia) foi transferido, quantitativamente, novamente para o becker, completando-se o volume com água. Todo o material flotado foi passado por peneira de 0,25 mm, tomando-se cuidado para separar a MOL da fração areia. Em seguida, foi adicionado novamente água ao becker, agitando-se manualmente para ressuspender a MOL restante e verter o material vagarosamente em peneira de 0,25 mm. Essa operação foi repetida até que todo o material que flutuou com a agitação em água fosse removido. O material que ficou retido na peneira (MOL) foi transferido para recipientes de alumínio (previamente pesados), levado a estufa a 65°C até atingir peso constante (72 horas), sendo pesado todo o conjunto. Posteriormente, foram determinados os teores de C e N, contidos na massa da MOL, pelo método de combustão a seco, em um autoanalisador de C e N, a 900°C (CHN - 600 Carlo Erba EA - 1110, Itália), em Piracicaba, SP. Com os dados de peso da MOL e dos teores de C e N, procedeu-se para cada elemento uma correção como segue abaixo:

$$\text{Teor de C da MOL corrigido (gkg}^{-1}\text{)} = \frac{\text{C da MOL (gkg}^{-1}\text{)} \times \text{MOL no solo (gkg}^{-1}\text{)}}{1000}$$

Para o N procedeu-se da mesma forma, somente substituindo-se os valores do C pelos de N. Após a correção obtiveram-se valores de C e N oferecidos ao solo sob a forma de MOL.

6.3 Análises Estatísticas

Os resultados foram analisados quanto à normalidade e homogeneidade dos dados por meio dos testes de Lilliefors e Cochran, respectivamente. Os resultados dos tratamentos foram submetidos a

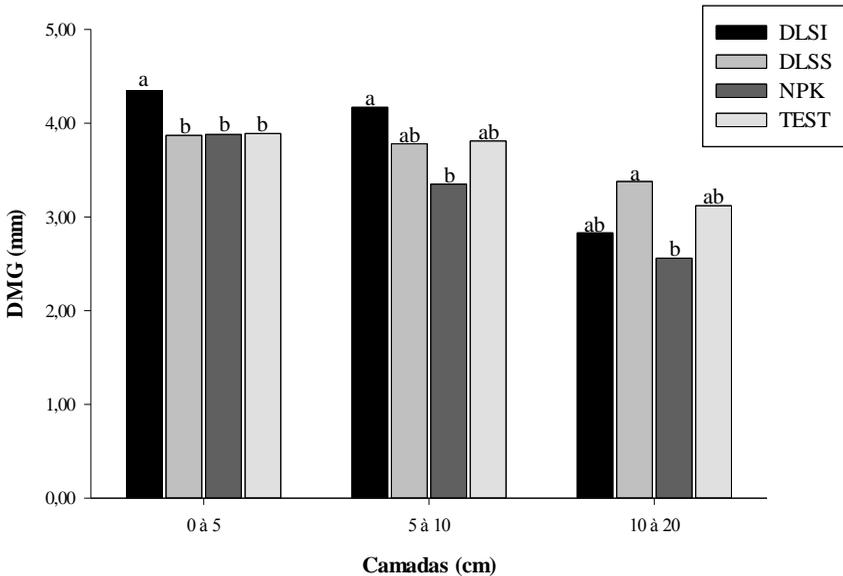
análise de variância (ANOVA) com aplicação do Teste F e os valores médios, quando significativos, comparados entre si pelo Teste Tukey a 5% de probabilidade por meio do Software Sisvar 5.6.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 Estabilidade dos agregados do solo

Em relação ao diâmetro médio geométrico (DMG), na camada de 0-5 cm, verificaram-se maiores valores para o tratamento DLS_1 em comparação aos demais tratamentos. Para a camada de 5-10 cm, os maiores valores de DMG foram encontrados no tratamento DLS_1 e menores no NPK, sendo que os tratamentos DLSs e TEST apresentaram valores intermediários aos demais. Já na camada de 10-20 cm, o maior valor de DMG foi encontrado para o tratamento DLS_3 e o menor para NPK. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários.

Figura 2. Valores médios de diâmetro médio geométrico (DMG, mm) em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.



DLS_I = Dejeto líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeto líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha. Médias seguidas pela mesma letra, em cada camada, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os menores valores de DMG no tratamento com NPK em relação aos tratamentos com dejetos suínos podem ser decorrentes da mineralização mais acentuada da MOS no tratamento com NPK, conforme resultados encontrados por SILVA et al. (2008), FONTE et al. (2009) e SCHMITZ et al. (2017). A adubação com nitrogênio mineral pode resultar na redução dos teores de MOS, ou seja, do COT, pois o nitrogênio mineral passa a servir de matéria-prima para microrganismos decompositores, acelerando a decomposição da MOS (FONTE et al., 2009).

Em trabalho desenvolvido por FONTE et al. (2009), no qual os autores avaliaram os efeitos da adubação mineral (120 kg ha⁻¹ de ureia) e orgânica (esterco bovino, equivalente a 4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹) sobre a estabilidade dos agregados, verificou-se que a adubação mineral acelerou a decomposição dos agentes orgânicos dentro dos agregados,

especialmente da matéria orgânica particulada, o que ocasionou a diminuição da estabilidade dos agregados.

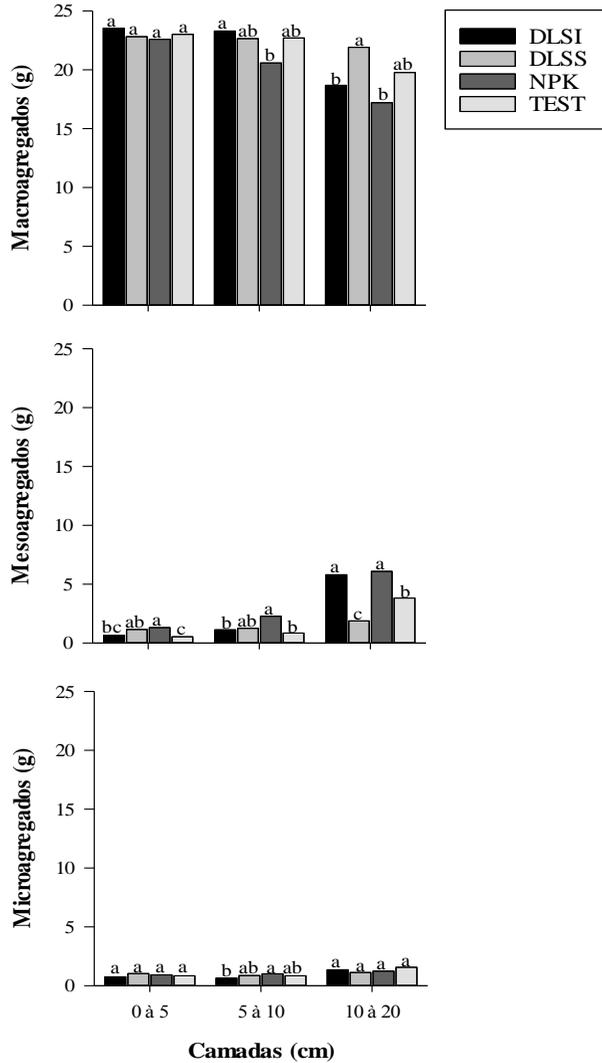
Maiores valores de DMG em áreas adubadas com dejetos animais em comparação a adubação mineral com NPK também foram encontrados por SILVA et al. (2008). Esses autores avaliaram o impacto da adubação orgânica (AO, esterco bovino, $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$) e mineral (AM, 250 kg ha^{-1} de NPK) sobre o DMG dos agregados de um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontrando maiores valores de DMG no tratamento com AO (1,87 mm) em comparação à AM (1,53 mm).

MATOS et al. (2008) observaram maiores valores de DMG em tratamento com adubação orgânica, comparado ao tratamento com adubação mineral, tendo os autores atribuído esses valores à maior quantidade de agregados maiores que 2 mm, e esta maior agregação pode estar relacionada ao maior acúmulo de MO, proporcionado pelos sistemas de manejo em que não foi utilizada a adubação mineral.

Os maiores valores de DMG nos tratamentos com dejetos suínos também podem ser devidos ao aporte de carbono via adubação orgânica em comparação ao NPK (Tabela 2). Com maiores quantidades de carbono no solo, maior será a estabilidade dos agregados, pois a MOS favorece a formação de agregados do solo mais estáveis (SIX et al., 2004).

Tendência semelhante foi verificada nesse estudo, em que a classe dos macroagregados foram superiores nos tratamentos com dejetos de suínos nas camadas de 5-10 e 10-20 cm em comparação ao tratamento NPK (Figura 3).

Figura 3. Distribuição das classes de agregados em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral em diferentes camadas.



DLS_I = Dejeito líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeito líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha Médias seguidas pela mesma letra, para cada camada, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Para as três camadas analisadas (Figura 3), os macroagregados apresentaram maior quantidade na distribuição das classes de agregados estáveis em água do solo, fato que pode ser decorrente do uso no experimento de gramíneas na sucessão de culturas, pois a atividade do sistema radicular das gramíneas, que possuem grande quantidade de raízes finas, ocorre principalmente devido à maior biomassa e ao comprimento das hifas de fungos que atuam como uma rede envolvendo os agregados menores em macroagregados, associado à ausência de revolvimento do solo, contribui efetivamente para formação de macroagregados estáveis (SALTON et al., 2008; HAYNES e BEARE, 1997).

A formação de macroagregados desempenha um papel importante no desenvolvimento dos microagregados estáveis, uma vez que os macroagregados fornecem um ambiente para a acumulação de polissacarídeos e materiais húmicos para estabilizar os microagregados contidos dentro dos macroagregados (OADES, 1984).

As áreas adubadas com DLS_I e DLS_S apresentaram maiores quantidades de massa de macroagregados em comparação com a área adubada com NPK para 5-10 cm e 10-20 cm, respectivamente. A aplicação de dejetos de animais no solo pode promover melhorias nos atributos físicos do solo como redução da densidade do solo e aumento da agregação (OLIVEIRA et al., 2016). A testemunha não apresentou diferenças em relação ao uso com dejetos suínos, o que evidencia que o SPD está sendo eficiente em melhorar a agregação do solo, conforme já observado por COMIN et al. (2013).

Já para os mesoagregados foram registadas diferenças entre os tratamentos em todas as camadas, apresentando o NPK os maiores valores em todos os casos, e havendo uma tendência crescente dos valores para todos os tratamentos na medida em que aumenta a profundidade da camada (Figura 3).

Os microagregados mostraram diferenças na quantidade de massa apenas na camada de 5-10 cm, destacando-se o tratamento com DLS_I que apresentou menor valor e NPK, o maior valor. As diferenças encontradas corroboram com os maiores valores de DMG encontrados (Figura 2) para DLS_I e DLS_S , pois com maiores quantidades de macroagregados estáveis também têm-se maiores valores de DMG. Já no NPK, têm-se menores massas de macroagregados e maiores de microagregados, corroborando com os menores valores de DMG encontrados.

Os agentes responsáveis pelos processos genéticos de formação de microagregados se diferenciam daqueles responsáveis pela formação de agregados de tamanhos maiores, em que a MOS tem papel mais

relevante (TISDAL e OADES, 1982), pelo que estes resultados mostram que o maior agente responsável pela formação de agregados é a MOS, daí a maior presença de macroagregados, se comparados aos meso e microagregados.

Resultados semelhantes ao deste estudo foram relatados por FONTE et al. (2009). Estes autores encontraram menores valores de macroagregados e maiores de microagregados em áreas adubadas com NPK em comparação à adubação orgânica (esterco bovino) e adubação com resíduos vegetais de crotalária, leucena e milho.

7.2 Teores de carbono e nitrogênio na TFSA do solo e nos macro e microagregados

Para os teores de COT, na camada de 0-5 cm, encontraram-se maiores valores na TFSA e nos macroagregados para o tratamento DLS_I , exceto a testemunha para microagregados, que não diferiu dos DLS_I . Os macroagregados não apresentaram diferenças entre os tratamentos na camada de 0-5 cm.

Para as camadas de 5-10 e 10-20 cm, verificaram-se diferenças entre os tratamentos apenas para TFSA e macroagregados, com destaque para o tratamento DLS_I que apresentou maiores teores de COT em comparação aos demais, com exceção ao tratamento DLS_S , que não apresentou diferenças na camada de 5-10 cm em comparação ao DLS_I (Tabela 5).

Em relação aos teores de NT verificou-se padrão semelhante ao do COT, sendo encontrados maiores valores no tratamento DLS_I em comparação ao NPK e testemunha para a TFSA nas camadas de 5-10 e 10-20 cm. Para os macroagregados, o DLS_I também apresentou maiores valores de NT em relação ao tratamento NPK (0-5 e 5-10 cm) e foi superior a todos os tratamentos na camada de 10-20 cm. Para a classe dos microagregados, apenas na camada de 0-5 cm foram observadas diferenças entre os tratamentos, com maiores valores para os DLS_I em comparação ao NPK e DLS_S (Tabela 5).

Comparando-se os teores de COT e NT entre as classes de agregados e a TFSA, em todos os tratamentos, o padrão foi semelhante. Foram observados maiores valores de COT e NT na TFSA, seguida dos macroagregados e menores valores nos microagregados, na camada de 0-5 cm. Para as demais camadas, TFSA e macroagregados apresentaram maiores valores em comparação aos microagregados (Tabela 5).

Tabela 5. Teores de carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total (NT) para terra fina seca ao ar (TFSA) e nos macro e microagregados.

TRAT.	COT (g kg ⁻¹)				NT (g kg ⁻¹)			
	TFSA	Macro	Micro	CV (%)	TFSA	Macro	Micro	CV (%)
0 – 5 cm								
DLS _I	27,51aA	22,65aB	16,55aC	8,80	2,29aA	1,89aB	1,45aC	9,97
DLS _S	24,36bA	21,17aB	14,44bC	5,49	2,09aA	1,78abB	1,27bC	6,56
NPK	25,09bA	21,00aB	14,30bC	10,60	2,03aA	1,69bB	1,23bC	6,16
TEST	25,86bA	22,03aB	15,68abC	7,98	2,09aA	1,78abB	1,33abC	7,81
CV (%)	4,80	5,22	6,24		10,81	5,72	4,24	
5 – 10 cm								
DLS _I	21,69aA	19,97aA	12,91aB	10,17	1,83aA	1,65aA	1,11aB	11,75
DLS _S	19,51abA	18,83bA	12,65aB	4,07	1,64abA	1,55aBA	1,16aB	5,46
NPK	19,08bA	18,60bA	11,96aB	6,04	1,50bA	1,49bA	1,01aB	7,52
TEST	18,87bA	18,44bA	12,58aB	5,19	1,55bA	1,50aBA	1,13aB	3,47
CV (%)	6,95	3,73	8,76		8,80	6,49	8,67	
10 – 20 cm								
DLS _I	19,64aA	18,89aA	12,11aB	2,85	1,53aA	1,51aA	1,01aB	5,42
DLS _S	17,77bA	18,13bA	12,25aB	4,16	1,36abA	1,39bA	1,04aB	6,16
NPK	17,80bA	17,84bA	12,15aB	3,95	1,33bA	1,36bA	0,97aB	5,53
TEST	17,82bA	17,46bA	12,18aB	3,64	1,34bA	1,33bA	1,01aB	4,23
CV (%)	4,89	2,39	3,65		7,10	4,44	11,34	

DLS_I = Dejeito líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeito líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha. CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna entre os tratamentos e maiúscula na linha dentro dos tratamentos, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os teores de carbono e nitrogênio de um solo dependem da quantidade de resíduos animais ou vegetais aportados anualmente, da taxa de conversão desses resíduos em MOS e da taxa de mineralização da MOS (DORTZBACH et al., 2013). Dessa forma, pode-se inferir que a injeção dos dejetos suínos no solo (DLS_I) favoreceu o aumento do conteúdo de COT na TFSA (0-5 e 10-20 cm), nos macros (5-10 e 10-20 cm) e nos microagregados (0-5 cm); assim como para o NT nos macro (10-20 cm) e nos microagregados (0-5 cm) em comparação aos dejetos aplicados superficialmente (DLS_S). Convêm destacar ainda que os DLS_I foram mais eficientes em aumentar os teores de COT e NT em comparação aos tratamentos NPK e TEST do que os DLS_S em comparação ao NPK e TEST.

Os dejetos suínos adicionam ao solo nutrientes como N, P e K, além de C (Tabela 2). Sendo assim, os maiores teores de C e N no tratamento DLS_I possivelmente estão relacionados com a menor taxa de mineralização desses dejetos, o que refletiu em maiores produtividades do milho e aveia, comparativamente aos demais tratamentos (Tabelas 3 e 4). Como o sistema de uso no experimento é o SPD, nos DLS_I tem-se também maior adição dos resíduos vegetais ao solo, o que favoreceu aos maiores teores de COT e NT.

Os maiores valores de NT no tratamento DLS_I em comparação ao tratamento DLS_S e ao NPK indica menores perdas de N por volatilização devido a injeção dos dejetos suínos. Resultados semelhantes foram encontrados por NICOLOSO et al. (2013), em que a injeção no solo aumentou a eficiência agrônômica do DLS e promoveu maior acúmulo de N. Entre as estratégias que melhoram o aproveitamento do N do DLS pelas culturas, pode ser a injeção no solo e o uso de inibidores de nitrificação (PELLEGRIN et al., 2016).

Em estudo desenvolvido por TIMOFIECSYK et al. (2012) com dejetos líquido bovino, os autores verificaram que a injeção dos dejetos animais no solo diminuiu as quantidades perdidas de amônio e nitrato. Em estudo desenvolvido na mesma área experimental deste trabalho, GONZATTO et al. (2017) verificaram que a injeção de dejetos de suínos melhorou o rendimento das culturas e a eficiência do uso de N pelas lavouras de grãos no SPD.

Os macroagregados apresentaram maiores teores de COT e NT em todas as camadas para todos os tratamentos se comparados com os microagregados, evidenciando maior capacidade de proteção contra a decomposição desses elementos, associados ao SPD, já que para todos os tratamentos, a tendência foi a mesma. Assim sendo, quanto maior o tamanho dos agregados, maiores os teores de COT e NT contidos nesses agregados.

ASSIS et al. (2006) observaram redução nos teores de C e N com a diminuição do tamanho dos agregados, demonstrando que os sistemas de uso e manejo propiciam mudanças nos teores de C e N, nas diferentes classes de tamanho dos agregados. O aumento da intensidade de cultivo leva à perda de macroagregados ricos em C e a um aumento de microagregados com perda de C (SIX et al., 2000).

Tanto nos macroagregados, assim como nos microagregados, verificaram-se maiores teores de COT e NT na camada superficial (0-5 cm) proporcionalmente as camadas de 5-10 e 10-20 cm. Isso demonstra que provavelmente o acúmulo de resíduos culturais (resultante do SPD) na superfície do solo tenha contribuído para os teores registrados.

Resultados semelhantes foram constatados por COSTA JÚNIOR et al. (2012) avaliando teores de carbono em agregados de um Latossolo Vermelho Distrófico sob diferentes usos e manejos do solo, em Rio Verde. LOSS et al. (2011) também observaram aumento de teores de COT e de NT dos agregados na camada de 0-5 cm em SPD em comparação as camadas mais profundas. DU et al. (2013) concluíram que a adoção do sistema de manejo conservacionista, especialmente o SPD, pode aumentar a macroagregação do solo e o acúmulo total de C em macroagregados.

7.3 Frações granulométricas da matéria orgânica do solo

Os maiores valores de COP foram registrados na área adubada com DLS_1 e o menor valor foi observado no tratamento com NPK, para a camada de 0-5 cm. Nas demais profundidades não foram verificadas diferenças entre os tratamentos. Para o COam, o tratamento com DLS_1 apresentou os maiores valores na camada de 5-10 cm; e na última camada, os maiores e menores valores foram encontrados, respectivamente, para os tratamentos DLS_1 e DLS_5 (Tabela 6).

Os maiores valores de COP no tratamento DLS_1 são reflexos da maior produtividade das culturas (Tabela 3 e 4) neste tratamento, propiciando maiores aportes de resíduos vegetais ao solo no SPD. Além disso, têm-se o efeito da injeção dos dejetos, que possivelmente ocasionou uma mineralização da MOS mais lenta no SPD (FREIRE et al., 2001), o que acarretou em maiores valores de COT no tratamento DLS_1 em comparação aos demais também na camada superficial do solo (Tabela 5).

LOSS et al. (2012) comparando sistemas de integração lavoura-pecuária (ILP) e SPD, verificou que as áreas do ILP exibiam estoques mais altos de COT (entre 5-10 e 10-20 cm) e COP (entre 0-40 cm). Os resultados obtidos pelos autores mostraram que para as frações de COT e COP, o manejo da terra com ILP foi mais eficiente em aumentar a MOS do que o SPD. Resultados semelhantes foram encontrados por GMACH et al. (2018) avaliando diferentes usos da terra (vegetação nativa, SPD, pastagem e plantio de eucalipto) comuns no Cerrado, em que a pastagem foi o uso da terra que apresentou melhores resultados em termos de manutenção de teores de C (recalcitrantes e lábeis).

BRIEDIS et al. (2012) trabalhando em solo sob plantio direto, observaram o incremento do COT na camada de 0-5 cm nos primeiros 160 dias de avaliação após a dessecação das plantas de cobertura (aveia), tendo sido atribuído esse fato principalmente ao aumento do COP derivado da decomposição do resíduo de aveia. Ainda no mesmo

estudo, foi mostrada uma relação linear entre COT e COP, e que 21% do COT foi devido à fração mais lábil, indicando que a entrada contínua de resíduos vegetais ao solo pode intensificar o aumento dos teores de C e, conseqüentemente, o sequestro desse carbono em solos sob sistema de plantio direto.

Tabela 6. Teores de carbono e nitrogênio particulado (COP e NOP) e de carbono e nitrogênio associado aos minerais (COam e NOam) em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.

TRAT	g kg ⁻¹			
	COP	COam	NOP	NOam
0-5 cm				
DLS _I	11,76a	15,75a	0,89 ^a	1,41a
DLS _S	8,55b	15,81a	0,55b	1,54a
NPK	6,58c	18,51a	0,29c	1,74a
TEST	8,45b	17,41a	0,60b	1,49a
CV (%)	10,68	14,84	15,07	17,16
5-10 cm				
DLS _I	2,71a	18,98a	0,19ab	1,63a
DLS _S	2,54a	16,97b	0,14b	1,50ab
NPK	2,38a	16,70b	0,23 ^a	1,27b
TEST	2,19a	16,68b	0,15b	1,40b
CV (%)	15,89	6,92	13,66	9,02
10-20 cm				
DLS _I	1,72a	17,92a	0,11 ^a	1,42a
DLS _S	1,74a	16,03b	0,10 ^a	1,26ab
NPK	1,62a	16,18ab	0,11 ^a	1,22b
TEST	1,66a	16,16ab	0,13 ^a	1,21b
CV (%)	15,31	5,74	13,89	7,09

DLS_I = Dejeito líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeito líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha. CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os maiores teores de COam no tratamento DLS_I indicam que este manejo está favorecendo a humificação da MOS, pois segundo CONCEIÇÃO et al. (2013), a maior parte de C no solo na forma de COam evidencia a importância dessa fração para a promoção do aumento dos teores de COT em solos tropicais e subtropicais. Esses autores ainda ressaltam que à medida que a estrutura do solo é fortalecida pela adoção de sistemas de manejo com baixo revolvimento do solo, os teores de COP devem ser incrementados na forma de COP oclusa em agregados estáveis. E segundo GOLCHIN et al. (1994), o aumento dos teores de COP livre antecede a formação de COP oclusa em macro e microagregados; por fim, há a formação de COam. Portanto, a estabilização da MOS em longo prazo se dá pelo aumento dos teores de COam, conforme relatado por LIMA et al. (2016) e CONCEIÇÃO et al. (2013).

Comparando-se os teores de COP e COam em todos os tratamentos e profundidades, nota-se maior proporção do COam, o que evidencia que há mais carbono estável no solo. Este resultado é decorrente do efeito do sistema de manejo adotado no experimento, neste caso o uso de SPD, as espécies de gramíneas usadas (milho/aveia/trigo) na sucessão de culturas, a adubação e a qualidade e quantidade dos resíduos vegetais depositados na superfície do solo (BATISTA et al., 2013; CAMPOS et al., 2011; DICK et al., 2009; BALIN et al., 2017).

Os teores de NOP e NOam seguiram tendência semelhante ao do COP e COam, com os maiores teores de NOP, na camada superficial, no tratamento DLS_I e o menor valor no tratamento com NPK. Na camada de 5-10 cm, o tratamento NPK apresentou o maior valor de NOP em comparação aos tratamentos DLS_S e TEST, porém não diferiu do DLS_I. Na última camada não foram verificadas diferenças entre os tratamentos. Em relação ao NOam, apenas nas camadas subsuperficiais foram verificadas diferenças, sendo os maiores valores encontrados no tratamento DLS_I em comparação aos tratamentos NPK e TEST, mas sem diferir do tratamento DLS_S (Tabela 6).

Os maiores valores de NOP e NOam no tratamento DLS_I evidenciam que os dejetos líquidos de suínos quando injetados, proporcionam teores mais elevados de nitrogênio na camada superficial (0-5 cm) do solo, o que está relacionado a menor perda de N por volatilização (GONZATTO et al., 2017).

SILVEIRA et al. (2011) atribuem as perdas de solo, água e nutrientes em experimentos de curta duração, com chuvas logo após a aplicação de dejetos líquidos, ao selamento superficial causado pelo material orgânico em SPD. Sendo assim, a aplicação subsuperficial dos dejetos suínos demonstra que o seu efeito é positivo e aumenta os teores de NOam em comparação ao NPK e testemunha. A perda de nutrientes pela erosão hídrica é um dos principais fatores determinantes do empobrecimento dos solos e da redução da produtividade da maioria das culturas (SCHICK et al., 2000).

7.4 Matéria orgânica leve em água

Em relação a massa de MOL, as maiores quantidades foram evidenciadas nos tratamentos DLS_I e NPK na camada superficial. Na camada de 5-10 cm, o tratamento com DLS_I apresentou o maior valor de MOL e a TEST, o menor valor. O tratamento com NPK apresentou maior valor de massa de MOL em comparação ao DLS_S. Na última camada, as áreas adubadas com DLS apresentaram maiores valores de

massa de MOL em comparação ao NPK, porém sem diferir da testemunha (Tabela 7).

Tabela 7. Quantidade de massa de matéria orgânica leve (MOL) e teores de carbono e nitrogênio contidos na massa da MOL em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.

TRAT	MOL		C	N
	g kg ⁻¹			
0-5 cm				
DLS _I	14,9a		2,68 ^a	0,183a
DLS _S	10,6b		2,03c	0,101b
NPK	16,1a		2,31b	0,232a
TEST	10,8b		1,71d	0,099b
CV (%)	12,32		7,23	9,55
5-10 cm				
DLS _I	7,0a		0,65 ^a	0,041a
DLS _S	4,4c		0,35bc	0,029b
NPK	5,2b		0,48b	0,035ab
TEST	2,2d		0,22c	0,015c
CV (%)	4,24		7,41	12,80
10-20 cm				
DLS _I	2,2a		0,18 ^a	0,021a
DLS _S	2,4a		0,20 ^a	0,015ab
NPK	1,6b		0,15 ^a	0,012bc
TEST	2,0ab		0,22 ^a	0,011c
CV (%)	13,92		18,15	12,34

DLS_I = Dejeito líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeito líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha. CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo Teste Tukey a 5%.

A produtividade de milho, aveia e trigo (Tabelas 3 e 4), podem explicar os maiores valores de massa de MOL registados no tratamento DLS_I, visto que nesse tratamento foram registados os maiores valores de produtividade proporcionalmente aos demais tratamentos.

Os maiores valores de MOL no tratamento NPK podem ser decorrentes da rápida mineralização que o adubo solúvel está sujeito, favorecendo o desenvolvimento das plantas, o que contribuiu para uma maior adição de resíduos orgânicos no solo. A dinâmica da MOS pode ser modificada pelo manejo, por meio da seleção de culturas, pela adição de fertilizantes químicos e materiais orgânicos, que influenciam nos processos biológicos de decomposição e mineralização (LEITE et al., 2003; BRANCALIAO e MORAIS, 2008), e também pela forma de preparo do solo, porque no SPD, em que mantêm-se a palhada sobre a superfície do solo, aumenta os teores da fração leve da MOS (LOSS et al., 2010).

A aplicação subsuperficial dos dejetos suínos foi mais eficiente em aumentar os teores de MOL na camada de 5-10 cm em relação a todos os tratamentos e em relação ao NPK, para 10-20 cm. Estes

resultados podem ser decorrentes da mineralização da MOS mais lenta, o que refletiu em maiores aportes vegetais ao solo.

Os maiores teores de C foram encontrados no tratamento DLS_I e os menores na TEST, respectivamente, nas camadas de 0-5 e 5-10 cm. Na última camada não foram verificadas diferenças. Os maiores teores de N foram registrados, na camada de 0-5 cm, pelos tratamentos DLS_I e NPK; nas demais camadas, os DLS_I apresentaram os maiores valores de N e a TEST, os menores valores. Convém destacar que o tratamento DLS_I foi mais eficiente em aumentar os teores de C e N da MOL em relação ao tratamento DLS_S na camada de 0-10 cm (Tabela 7). Estes resultados indicam um melhor aproveitamento dos nutrientes, principalmente N, pelas culturas no tratamento DLS_I , o que refletiu em maior aporte vegetal e conseqüentemente, ciclagem dos nutrientes C e N.

SEIDEL et al. (2010) num estudo com dejetos de suínos e adubação química observaram que as diferentes doses de dejetos utilizadas na adubação de base, quando comparadas à adubação química (NPK), não diferiram entre si na produção de milho, demonstrando a eficiência dos dejetos como biofertilizantes, o que corrobora com os resultados de N encontrados nesse trabalho. Sendo a cultura de milho altamente exigente em N, os resultados da sua produção (Tabela 3) encontrados no experimento mostram o maior aporte desse nutriente no tratamento DLS_I .

Resultados semelhantes também foram encontrados por OLIVEIRA et al. (2017) quando analisaram diferentes formas de aplicação de dejetos de suínos no solo, tendo verificado que a fertilização aumentou o rendimento de milho em relação ao controle, independentemente de a fonte ter sido orgânica (DLS) ou mineral (NPK) em comparação a ausência de fertilização.

7.5 Abundância natural de carbono e nitrogênio nos macro e microagregados

Os valores de abundância de ^{13}C somente apresentaram diferenças entre os tratamentos na camada superficial do solo, com destaque para os tratamentos DLS_S e NPK que apresentaram valores menos negativos para macro e microagregados em relação à TEST. Comparando os resultados encontrados ente macro e microagregados para cada tratamento, verificaram-se pequenas variações entre os valores de ^{13}C , sendo observados valores menos negativos nos macroagregados (Tabela 8).

De maneira geral, os valores de ^{13}C encontrados refletem a presença de plantas de ciclo fotossintético C_4 , já que essas plantas apresentam valores de ^{13}C variando entre -6 a -19‰ em comparação as plantas C_3 , as quais apresentam valores que varia de -24 a -34‰, (SMITH e EPSTEIN, 1971).

Tabela 8. Valores de abundância natural de ^{13}C e ^{15}N em macro e microagregados do solo em áreas adubadas com dejetos suínos e adubação mineral.

TRAT	^{13}C (‰)		CV (%)	^{15}N (‰)		CV (%)
	Macro	Micro		Macro	Micro	
0-5 cm						
DLS _I	-15,87abA	-16,66 bcB	-2,16	14,85bB	17,76bA	14,59
DLS _S	-15,58aA	-16,13 abA	-3,40	17,08aB	20,30aA	10,58
NPK	-15,48aA	-15,98aA	-3,46	9,11cB	11,72cA	13,88
TEST	-16,11bA	-16,89cB	-1,61	10,47cA	9,34dA	12,31
CV (%)	-2,21	-2,20		11,93	10,40	
5-10 cm						
DLS _I	-15,47aA	-16,11aA	-2,59	15,59aA	13,62bB	13,82
DLS _S	-15,17aA	-15,82aB	-3,72	13,93aB	16,29aA	7,85
NPK	-14,98aA	-15,47aA	-3,33	13,62aA	9,05cB	15,26
TEST	-15,01aA	-15,68aA	-3,59	13,95aA	8,51cB	11,44
CV (%)	-2,42	-3,28		13,09	10,57	
10-20 cm						
DLS _I	-14,58aA	-14,78aA	-4,55	13,42cA	11,93cB	7,37
DLS _S	-14,17aA	-14,78aA	-4,71	19,47aA	17,45bA	10,24
NPK	-14,50aA	-14,95aB	-3,39	16,70bB	24,09aA	5,79
TEST	-14,12aA	-14,94aA	-3,90	10,94dB	19,03bA	6,20
CV (%)	-3,53	-3,86		4,59	8,87	

DLS_I = Dejeito líquido de suíno injetado subsuperficialmente; DLS_S = Dejeito líquido de suíno aplicado superficialmente; NPK = Adubação química; TEST = Testemunha. CV = Coeficiente de variação. Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna, entre os tratamentos, e maiúscula na linha, dentro de cada tratamento, não diferem entre si pelo teste Tukey a 5%.

Os valores encontrados nesse estudo variaram de -14,12 a -16,89 ‰, e são decorrentes do uso da cultura do milho por mais tempo na sucessão aveia (C_3)/milho (C_4)/trigo (C_3), somado a presença do capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees), que cobria toda área antes da instalação do experimento. Esta forrageira é de ciclo fotossintético C_4 , sendo por isso que na camada de 10-20 cm, os valores de ^{13}C são menos negativos do que os encontrados nas demais camadas.

A tendência de valores de ^{13}C menos negativos nos macroagregados em todas as camadas refletem a incorporação de um carbono mais novo, oriundo da vegetação atual, a qual provavelmente está relacionada aos resíduos do milho ou de plantas espontâneas da forrageira capim-annoni. A análise da variação na abundância natural de ^{13}C serve como ferramenta para confirmar o histórico de cultivo das áreas de estudo, bem como evidenciar o quanto dos resíduos vegetais

das culturas semeadas nas áreas estão contribuindo para a formação da MOS em determinado ambiente (GUARESCHI et al., 2012).

Em relação à abundância natural de ^{15}N , observaram-se maiores variações dos resultados entre os tratamentos e entre os macro e microagregados, em comparação aos resultados do ^{13}C . Na camada de 0-5 cm, verificaram-se maiores valores para o tratamento DLS_5 e menores para NPK e TEST, tanto para macro quanto para microagregados. Na camada de 5-10 cm verificaram-se diferenças apenas para os microagregados, sendo também observados maiores valores para DLS_5 e menores para NPK e TEST. Na última camada, nos macroagregados novamente o tratamento DLS_5 apresentou os maiores valores e a TEST, o menor valor. Para os microagregados, o NPK apresentou o maior valor e o DLS_1 , os menores (Tabela 8).

Em estudo realizado por HÖGBERG (1997), o autor encontrou aumento de valores de ^{15}N da MOS com a profundidade. Resultados semelhantes também foram encontrados por COSTA JÚNIOR et al. (2011) analisando o ^{15}N associado aos agregados do solo, tendo observado que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ nos agregados do solo seguiam a mesma tendência para o solo e também foram significativamente menores em superfície aumentando em profundidade.

O tratamento DLS_5 apresentou maiores valores de ^{15}N nos macroagregados na camada de 0-5 e 10-20 cm se comparado com os demais tratamentos, cenário igual foi verificado na camada de 0-5 e 5-10 cm nos microagregados. Esses valores podem ser resultantes do fato dos esterços de animais serem naturalmente enriquecidos em ^{15}N devido aos processos de fracionamento isotópico, tais como a volatilização de NH_3 e a desnitrificação que ocorrem durante o armazenamento do esterco ou durante a compostagem de resíduos orgânicos (CHALK et al., 2014) e como consequência das perdas de N empobrecido em ^{15}N (valores negativos de $\delta^{15}\text{N}$), o N torna-se enriquecido em ^{15}N (INÁCIO, 2015).

Se comparados os macro e microagregados em termos de maior valor de ^{15}N , os microagregados registaram o maior valor com 24,09 na camada mais profunda, o que pode estar associado às transformações que envolvem a decomposição da matéria orgânica e à liberação do N, passando esse para a forma iônica (GUARESCHI et al., 2014).

COSTA JÚNIOR et al. (2011) também verificaram valores maiores de $\delta^{15}\text{N}$ nos microagregados com diminuição à medida que aumenta o tamanho da classe de agregado, sugerindo que a formação de agregados de maior tamanho ocorre por meio da associação de material orgânico adicionado (resíduos vegetais em decomposição) recente nos macroagregados, com posterior transferência e maior cimentação da

MOS, em grau mais elevado de mineralização (elevação nos valores de $\delta^{15}\text{N}$) para os microagregados.

O aumento da abundância natural do ^{15}N no solo indica, principalmente, intensificação do processo de nitrificação (PEGORARO et al., 2016), o que sugere uma maior nitrificação nos microagregados em relação aos macroagregados. E comparando os tratamentos, DLS_I com DLS_S , em todas as profundidades e tanto para macro quanto para microagregados, como têm-se menores valores de ^{15}N no DLS_I , sugere-se uma decomposição mais lenta da MOS neste tratamento em relação ao DLS_S .

8 CONCLUSÃO

Após sete aplicações de dejetos líquidos de suínos na sucessão milho/aveia/trigo pode-se inferir que a aplicação do DLS_I melhorou os atributos físicos do solo, com destaque para o DMG na camada de 0-5 cm em comparação ao DLS_S , ao NPK e a TEST. E na camada de 5-10 cm, os DLS_I são mais eficientes em aumentar o DMG e massa de macroagregados em comparação ao NPK. Esse aumento deveu-se também em parte ao uso de SPD no experimento.

Os atributos químicos também mostraram melhorias em áreas com aplicação dos DLS_I , pois o tratamento com DLS_I aumentou o conteúdo de MOL e os teores de COT e NT, se comparados com DLS_S , evidenciando deste modo menores perdas por volatilização e emissão para a atmosfera do N e C quando os DLS são injetados no solo, aliados a ocorrência de maior índice de estabilidade de agregados e quantidade de macroagregados que funcionam como protetores desses elementos no solo.

A abundância natural de ^{15}N permitiu evidenciar que nos DLS_I ocorre uma menor decomposição da MOS em relação aos DLS_S . Por outro lado, a abundância natural de ^{13}C apresentou nos macroagregados valores menos negativos quando comparados aos microagregados, mostrando que as práticas de manejo adotadas, associado ao tipo de culturas usadas (gramíneas) no experimento, influenciaram positivamente na abundância do ^{13}C .

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca de alternativas que contribuam para uma melhor gestão dos resíduos gerados pela atividade de produção suinícola é necessária, tendo em conta os efeitos para o ambiente resultantes desta prática. Grande parte dos dejetos de suínos usados na agricultura são aplicados na forma superficial, contudo esta forma de aplicação pode a médio ou longo prazo não ser mais eficiente em aproveitar os nutrientes contidos nesses dejetos, principalmente o N, devido a sua volatilidade e mobilidade.

A aplicação dos dejetos líquidos de suínos na forma injetada representaria uma alternativa mais eficiente em termos agrícolas e ambientais, se comparado com a aplicação superficial que tem sido feita atualmente na maioria das unidades agrícolas. Contudo, a questão econômica representaria uma barreira para que os pequenos produtores possam fazer a aquisição do equipamento usado para a injeção dos dejetos. Outro aspecto não menos importante é a declividade acentuada de algumas áreas de produção, que seria um entrave no uso desse tipo de equipamento nessas áreas no SPD.

Mas olhando para os resultados obtidos nesse estudo, nota-se que a aplicação injetada de dejetos líquidos de suínos melhora os atributos físicos (DMG e massa de agregados) e químicos do solo (COT e NT), recomendando-se desse modo a sua adoção, apesar dos entraves econômicos para o pequeno produtor rural.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBRUZZINI, T. F. Qualidade e quantidade da matéria orgânica do solo em cultivo convencional e orgânico de cana-de-açúcar. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 92 p. 2011.

ADAMS, M. A.; GRIERSON, P. F. Stable isotopes at natural abundance in terrestrial plant ecology and ecophysiology: an update. *Plant Biology* 3:299–310. 2001.

ADUAN, R. E.; VILELA, M. F.; KLINK, C. A. Ciclagem de carbono em ecossistemas terrestres – o caso do cerrado brasileiro. Planaltina: Embrapa Cerrados, (EMBRAPA Cerrados, Documentos 105). 2003.

AGNE, S. A. A.; KLEIN, V. A. Matéria orgânica e atributos físicos de um Latossolo Vermelho após aplicações de dejetos de suínos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.18, n.18, p. 720-726, 2014.

AITA, C.; TONETTO, F.; GONZATTO, R.; PUJOL, S. B.; SCHIRMANN, J.; DEPOI, J. S.; MEZZALIRA, A. P.; HOCHSCHEID, M.; ZIRBES, E.; GIACOMINI, S. J. Nitrous oxide emissions in a wheat/corn succession combining dairy slurry and urea as nitrogen sources. *Rev. Bras. de Ci. do Sol. (ONLINE)*, v. 42, p. 1-14, 2018.

ANDERSON, J. M.; INGRAM, J. S. I. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. Wallingford: CAB International, 1989.

ANDRADE, A. P. Estoque e frações de carbono e atributos físicos em nitossolo vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção. Tese de doutorado. Universidade do Estado de Santa Catarina. Lages, SC. 2013.

ANDRADE, A. P.; RAUBER, L. P.; MAFRA, A. L.; BARETTA, D.; ROSA, M. G. DA; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, M. S. H.; CASARA, A. C. Changes in physical properties and organic carbon of a Kandiodox fertilized with manure. *Ciência Rural*, v.46, n.5, p. 809-814, 2016.

AOYAMA, M.; ANGERS, D. A.; N'DAYEGAMIYE, A.; BISSONNETTE, N. Protected organic matter in water-stable aggregates

as affected by mineral fertilizer and manure applications. *Canadian Journal of Soil Science*. 1999.

ASSIS, C. P.; JUCKSCH, I.; MENDONÇA, E.S.; NEVES, J. C. L. Carbon and nitrogen in aggregates of an Oxisol submitted to different use and management systems. *Pesq.agropec. bras.* vol.41, n.10, p. 1541-1550, 2006.

BALDOCK, J. A.; SKJEMSTAD, J. O. Soil organic carbon/soil organic matter. In Peverill, KI, Sparrow, LA and Reuter, DJ (eds). *Soil Analysis - an interpretation manual*. CSIRO Publishing Collingwood Australia. 1999.

BALIN, N. M.; ZIECH, A. R. D.; OLIVEIRA, J. P. M. DE; GIRARDELLO, V. C.; STUMPF, L.; CONCEICÃO, P. C. Frações da matéria orgânica, índice de manejo do carbono e atributos físicos de um latossolo vermelho sob diferentes sistemas de uso. *Revista Scientia Agraria*. SA vol. 18, n. 3, Curitiba, Jul/Set. 2017 p. 85-94.

BARRETO, A. C.; FREIRE, M. B. G. S.; NACIF, P. G. S.; ARAÚJO, Q. R.; FREIRE, J.; INÁCIO, E. S. B. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. *R. Bras. Ci. Solo*. 32:1471-1478, 2008.

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

BATISTA, I.; PEREIRA, M. G.; CORREIA, M. E. F.; BIELUCZYK, W.; SCHIAVO, J. A.; ROWS, J. R. C. Teores e estoque de carbono em frações lábeis e recalcitrantes da matéria orgânica do solo sob integração lavoura-pecuária no bioma Cerrado. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3377-3388, 2013.

BERNOUX, M.; CERRI, C. C.; NEILL, C.; MORAES, J. F. L. DE. The use of stable carbon isotopes for estimating soil organic matter turnover rates. *Geoderma* 82. 1998. 43-58.

BORTOLON, E. S. O.; MIELNICZUK, J.; TORNQUIST, C. G.; LOPES, F.; FERNANDES, F. F. Simulação da dinâmica de carbono e nitrogênio

em um Argissolo do Rio Grande do Sul usando o modelo Century. R. Bras. Ci. Solo, 33:1635-1646, 2009.

BOTTINELLI, N.; ANGERS, D. A.; HALLAIRE, V.; MICHOT, D.; LE GUILLOU, C.; CLUZEAU, D.; HEDDADI, D.; MENASSERI-AUBRY, S. Tillage and fertilization practices affect soil aggregate stability in a Humic Cambisol of Northwest France. Short Communication. Soil & Tillage Research, v.170, p.14-17, 2017.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. Tópicos Ciência do Solo, 2011.

BRANCALIÃO, S. R.; MORAES, M. H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo vermelho na sucessão milheto-soja em sistema plantio direto. Rev. Bras. Ciênc. Solo. vol.32, n.1, 2008, pp.393-404.

BRIEDIS, C.; SÁ, J. C. DE M.; DE-CARLI, R. S.; ANTUNES, E. A. P.; SIMON, L.; ROMKO, M. L.; ELIAS, L. S.; FERREIRA, A. DE O. Particulate soil organic carbon and stratification ratio increases in response to crop residue decomposition under no-till. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.36, p.1483-1490, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000500012.

BRUNETTO, G.; COMIN, J. J.; SCHMITT, D. E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C. P.; OLIVEIRA, B. S.; MORAES, M. P.; GATIBONI, L. C.; LOVATO, P. E.; CERETTA, C. A. Changes in soil acidity and organic carbon in a sandy Typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 36:1620-1628, 2012.

BUSO, W. H. D.; KLIEMANN, H. J. Relações de carbono orgânico e de nitrogênio total e potencialmente mineralizável com o nitrogênio absorvido pelo milheto. Pesquisa Agropecuária Tropical, 33 (2): 97-105, 2003.

CABRAL, J. R.; FREITAS, P. S. L. DE.; REZENDE, R.; MUNIZ, A. S.; BERTONHA, A. Impacto da água residuária de suinocultura no solo e na produção de capim-elefante. R. Bras. Eng. Agríc.Ambiental, v.15, n.8, p.823-831, 2011.

CAMBARDELLA, C. A.; ELLIOTT, E. T. Particulate soil organic matter changes across a grassland cultivation sequence. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.56, p.777-783, 1992.

CAMPOS, B. C.; AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; NICOLOSSO, R. S.; FIORIN, J. E. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 35, n. 3, p. 805-817, 2011.

CARMO, F. F. DO; FIGUEIREDO, C. C. DO; RAMOS, M. L. G.; VIVALDI, L. J.; ARAÚJO, L. G. Frações granulométricas da matéria orgânica em latossolo sob plantio direto com gramíneas. *Biosci. J.*, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 420-431, May/June. 2012.

CARVALHO, D. C. DE.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; SIMON, C. A.; TOLEDO, L. DE O.; PICCOLO, M. DE C. Carbono,¹³ Nitrogênio e Abundância Natural de $\delta^{13}C$ do Solo em Coberturas Florestais. *Floresta e Ambiente*. 2017; 24: e20150093.

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M. A. T.; CAVIGLIONE, J. H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização do chorume suíno. In: *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*, 29., Ribeirão Preto, 2003. Ribeirão Preto, UNESP/ SBCS, 2003.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; BARCELLOS, L. A. R.; VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 38, n. 6, p. 729-735, jun. 2003.

CERRI, C. C.; MOREIRA, C. S.; ALVES, P. A.; TOLEDO, F. H. R. B.; CASTIGIONI, B. DE A.; RODRIGUES, G. A. DE A.; CERRI, D. G. P.; CERRI, C. E. P.; TEIXEIRA, A. A.; CANDIANO, C. A. C.; REIS, M. R.; D'ALESSANDRO, S. C.; TURELLO, L. Estoques de carbono e nitrogênio no solo devido a mudança do uso da terra em áreas de cultivo de café em minas gerais. *Coffee Science*, Lavras, v. 12, n. 1, p. 30 - 41 jan./mar. 2017.

CHALK, P.M., INÁCIO, C.T., A.M.T. From fertilizer to food: tracing nitrogen dynamics in conventional and organic farming systems using ¹⁵N natural abundance. In: HENG, L.K., SAKADEVAN, K., DERCON, G., NGUYEN, M.L. (Eds.). Proceedings – International Symposium on Managing Soils for Food Security and Climate Change Adaptation and Mitigation. Rome, Food and Agriculture Organization of United Nations, 2014. p. 339-349.

COMIN, J. J.; LOSS, A.; VEIGA, M.; GUARDINI, R.; SCHMITT, D. E.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P.; COUTO, R. DA R.; BENEDET, L.; MULLER JÚNIOR, V.; BRUNETTO, G. Physical properties and organic carbon content of a Typic Hapludult soil fertilised with pig slurry and pig litter in a no-tillage system. *Soil Research*, v.51, p.459-470, 2013.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 400p., 2004.

CONCEIÇÃO, P. C.; DIECKOW, J.; BAYER, C. Combined role of no-tillage and cropping systems in soil carbon stocks and stabilization. *Soil and Tillage Research*, v.129, p.40-47, 2013. DOI: 10.1016/j.still.2013.01.006.

CONCEIÇÃO, P. C.; AMADO, T. J. C.; MIELNICZUK, J.; SPAGNOLLO, E. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.29, 2005.

CORRÊA, J. C.; BARILLI, J.; REBELLATTO, A.; VEIGA, M. DA. Aplicações de dejetos de suínos e as propriedades do solo. Embrapa. Circular técnica 58. Concórdia, SC. Setembro, 2011.

COSTA JUNIOR, C.; PÍCCOLO, M. DE C.; SIQUEIRA NETO, M; CAMARGO, P. B. DE; CERRI, C. C.; BERNOUX, M. Carbono em agregados do solo sob vegetação nativa, pastagem e sistemas agrícolas no bioma Cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 36, n. 4, p.1311-1322, 2012.

COSTA JUNIOR, C.; PICCOLO, M. DE C.; DE CAMARGO, P. B.;

BERNOUX, M. M. Y.; SIQUEIRA NETO, M. Nitrogênio e abundância natural de ^{15}N em agregados do solo no bioma Cerrado. Revista de Educação. Vol. 15, Nº 2, p. 47-66, 2011.

COUTO, W. H.; ANJOS, L. H. C. DOS.; PEREIRA, M. G.; GUARESCHI, R. F.; ASSUNÇÃO, S. A.; WADT, P. G. S. Carbono, Nitrogênio, Abundância Natural de $\Delta^{13}\text{C}$ e $\Delta^{15}\text{N}$ do Solo sob Sistemas Agroflorestais. Floresta e Ambiente. 2017; 24: e00117614

COUTO, R. R.; COMIN, J. J.; SOARES, C. R. F. S.; FILHO, L. B.; MORAES, M. P.; BRUNETTO, G.; BEBER, C. L. Microbiological and chemical attributes of a Hapludalf soil with swine manure fertilization. Pesq.agropec. bras. v.48, n.7, p.774-782, jul. 2013.

DAWSON, T. E.; MAMBELLI, S.; PLAMBOECK, A. H.; TEMPLER, P. H.; TU, K. P. Stable isotopes in plant ecology. Annual Review of Ecology and Systematics 33: 507– 559. 2002.

DE SOUZA GALLO, A.; GUIMARÃES, N. DE F.; DE SOUZA, M. D. B.; AGOSTINHO, P. R.; GOMES, S. DA S.; SILVA, R. F. DA. Produtividade da cultura do feijoeiro em sucessão a adubos verdes, com adição de dejetos líquidos de suínos. Rev. Fac. Agron. La Plata (2015) Vol 114 (Núm. Esp.1) Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio: 45-51.

DICK, D. P.; NOVOTNY, E. H.; DIECKOW, J.; BAYER, C. QUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO. IN: FREITAS MELO, V.; ALLEONI, L. R. F. *Química e mineralogia do solo*. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2009. Parte II, p. 1-68.

DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S.; PANDOLFO, C. M.; DA VIEGA, M. Carbono e nitrogênio no solo e na biomassa microbiana em glebas com diferentes usos e períodos de aplicação de dejetos líquidos de suínos. Revista agropecuária catarinense, Florianópolis, v.26, n.2, p.69-73, jul. 2013.

DU, Z-L.; REN, T-S.; HU, C-S.; ZHANG, Q-Z.; BLANCO-CANQUI, H. Soil Aggregate Stability and Aggregate-Associated Carbon Under Different Tillage Systems in the North China Plain. Journal of Integrative Agriculture. Vol. 12, Issue 11, November 2013. Pages 2114-2123.

EMBRAPA. Visão 2030: o futuro da agricultura brasileira. – Brasília, DF: Embrapa, 2018.

EMBRAPA. Manual de métodos de análises de solo. 2. ed. ver. E atual. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 212 p. 1997.

EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3ªed. Brasília: Embrapa Produção de informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 312p. 2013.

FERNANDEZ, I., MAHIEU, N., CADISCH, G. Carbon isotopic fractionation during decomposition of plant materials of different quality. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 17, p.1.1-1.11, 2003.

FERREIRA, E. A. B.; RESCK, D. V. S.; GOMES, A. C.; RAMOS, M. L. G. Dinâmica do carbono da biomassa microbiana em cinco épocas do ano em diferentes sistemas de manejo do solo no cerrado. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1625-1635, 2007.

FERREIRA, G. W.; BENEDET, L.; LOSS, A.; COMIN, J. J.; LOURENZI, C. R.; SEPULVEDA, C. M.; HEINZEN, J. Agregação do solo sob cultivo de aveia/milho adubado com dejetos suínos e fertilizantes químicos. XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul. 2016.

FONTE, S. J.; YEBOAH, E.; OFORI, P.; QUANSAH, G. W.; VANLAUWE, B. Fertilizer and residue quality effects on organic matter stabilization in soil aggregates. *Soil Biol. and Bioc.* 2009;73:961–966.

FREIRE, F. M.; VASCONCELLOS, C. A.; FRANÇA, G. E. DE. Manejo da fertilidade do solo em sistema de plantio direto. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.22, n.208, p.49-56, 61-62, jan./fev. 2001.

GAZOLLA, P. R.; GUARESCHI, R. F.; PERIN, A.; PEREIRA, M. G.; ROSSI, C. Q. Frações da matéria orgânica do solo sob pastagem, sistema plantio direto e integração lavoura-pecuária. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 36, n. 2, p. 693-704, mar./abr. 2015.

GIACOMINI, S.J.; AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.32, p.195-205, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C.; PUJOL, S. B.; MIOLA, E. C. C. Transformações do nitrogênio no solo após adição de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.48, n.2, p.211-219, Fev. 2013.

GMACH, M-R.; DIAS, B. O.; SILVA, C. A.; NÓBREGA, J. C. A.; LUSTOSA, J. F.; SIQUEIRA-NETO, M. Soil organic matter dynamics and land-use change on Oxisols in the Cerrado, Brazil. *Geoderma Regional* 14 (2018). e00178.

GOLCHIN, A.; OADES, J. M.; SKJEMSTAD, J. O.; CLARKE, P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ^{13}C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. *Australian Journal of Soil Research*, v.32, p.285- 309, 1994.

GONZATTO, R.; AITA, C.; BÉLANGER, G.; CHANTIGNY, M. H.; MIOLA, E. C. C.; PUJOL, S. B.; DESSBESEL, A.; GIACOMINI, S. J. Response of No-Till Grain Crops to Pig Slurry Application Methods and a Nitrification Inhibitor. *AGRONOMY JOURNAL*, v. 109, p. 1-10, 2017.

GONZATTO, R. Eficiência de uso do nitrogênio por gramíneas em função do modo de aplicação de dejetos suínos no solo e do uso de inibidor de nitrificação. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Ciências Rurais. 2016.

GOUVEIA, S.E.M; PESSENDA, L.C.R; ARAVENA, R.; ROVERATTI, R.; GOMES, B.M. Dinâmica de vegetações durante o quaternário recente no sul do Amazonas, indicada pelos isótopos do carbono (^{12}C , ^{13}C , ^{14}C) do solo. *Geochimica Brasiliensis*. 11(3):355-367, 1997.

GRAHAM, E.; GRANDY, S.; THELEN, M. Manure effects on soil organisms and soil quality. Michigan State University, 2010.

GREGORICH, E. G.; BEARE, M. H.; STOKLAS, U.; ST-GEORGES, P. Biodegradability of soluble organic matter in maize-cropped soils. *Geoderma*, v. 113. 2003.

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Carbono, nitrogênio e abundância natural de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ em uma cromossequência de agricultura sob plantio direto no cerrado goiano. *R. Bras. Ci. Solo*, 38:1135-1142, 2014

GUARESCHI, R. F.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A. Deposição de resíduos vegetais, matéria orgânica leve, estoques de carbono e nitrogênio e fósforo remanescente sob diferentes sistemas de manejo no cerrado goiano. *R. Bras. Ci. Solo.*, 36:909-920, 2012.

HANDLEY, L. L.; AUSTIN, A. T.; ROBINSON, D.; SCRIMGEOUR, C. M.; RAVEN, J. A. The ^{15}N natural abundance ($\delta^{15}\text{N}$) of ecosystem samples reflects measures of water availability. *Australian Journal of Plant Physiology* 26: 185-199. 1999.

HANDLEY, L. L.; RAVEN, J. A. The use of natural abundance of nitrogen isotopes in plant physiology and ecology. *Plant, Cell & Environment*. Vol.15, issue 9. 1992. 965-985.

HAYNES, R. J.; BEARE, M. H. Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol. Biochem.*, 29:1647-1653, 1997.

HE, Y. T.; ZHANG, W. J.; XU, M. G.; TONG, X. G.; SUN, F. X.; WANG, J. Z.; HUANG, S. M.; ZHU, P.; HE, X. H. Long-term combined chemical and manure fertilizations increase soil organic carbon and total nitrogen in aggregate fractions at three typical cropland soils in China. *Sci. Total Environ.* v.532, p.635-644, 2015.

HÖGBERG, P. ^{15}N natural abundance in soil-plant systems. *New Phytologist* 137:179–203, 1997.

INÁCIO, C. DE T. Uso da Abundância Natural de ^{15}N em Estudos com Fertilizantes Orgânicos. Tese de doutorado. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Pesquisa Pecuária Municipal, 2017. [Acessado em: 14 de Fev.

2019]. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/pesquisa/18/0>.

JESUS, K. N. DE. Estoques e dinâmica do carbono e nitrogênio em solos sob diferentes coberturas e usos de terra em Pernambuco. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco. 2017.

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

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. Manejo e utilização de dejetos animais: aspectos agronômicos e ambientais. Sete Lagoas: Embrapa-CNPMS, Circular técnica, 63, 2005.

KRAJESKI, A.; POVALUK, M. Alterações no solo ocasionadas pela fertirrigação dos dejetos suínos. *Saúde Meio Ambient.* v. 3, n. 1, p. 3-18, jan./jun. 2014. ISSN 2316-347X.

LANGE, A.; CRUZ, J. C.; MARQUES, J. J. Estoque de nutrientes no perfil do solo influenciados por doses de palha e nitrogênio no milho em semeadura direta. *Revista de Ciências Agro-Ambientais, Alta Floresta*, v.6, n.1, p.29-38, 2008.

LEITE, L. F. C.; MENDONÇA, E. S.; MACHADO, P. L. O. A.; MATOS, E. S. Total C and N storage and organic C pools of a Red-Yellow Podzolic under conventional and no tillage at the Atlantic Forest Zone, south-eastern Brazil. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.41, p.717-730, 2003.

LIMA, C. E. P.; FONTENELLE, M. R.; MADEIRA, N. R.; DA SILVA, J.; GUEDES, I. M. R.; SILVA, L. R. B.; SOARES, D. C. Compartimentos de carbono orgânico em Latossolo cultivado com hortaliças sob diferentes manejos. *Pesq.agropec. bras.*, Brasília, v.51, n.4, p.378-387, abr. 2016.

LIU, M. Y.; CHANG, Q. R.; QI, Y. B.; LIU, J.; CHEN, T. Aggregation and soil organic carbon fractions under different land uses on the tableland of the Loess Plateau of China. *Catena* 115 (2014) 19-28.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; TIECHER, T. L.; VIEIRA, R. C. B.; CANCIAN, A.; FERREIRA, P. A.

A. Pig slurry and nutrient accumulation and dry matter and grain yield in various crops. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, p. 949-958, 2014.

LOURENZI, C. R.; CERETTA, C. A.; SILVA, L. S. DA; GIROTTI, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T. L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G.; BRUNETTO, G. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.37, p.157-167, 2013.

LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; MERGEN JÚNIOR, C. A.; SANTOS JÚNIOR, E.; BENEDET, L.; PEREIRA, M. G.; PICCOLO, M. C.; BRUNETTO, G.; LOVATO, P. E.; COMIN, J. J. Carbon, nitrogen and natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in biogenic and physiocogenic aggregates in a soil with 10 years of pig manure application. *Soil & Tillage Research*, v. 166, p.52-58, 2017.

LOSS, A.; BASSO, A.; OLIVEIRA, B. S.; KOUCHER, L. DE P.; OLIVEIRA, R. A. DE.; KURTZ, C.; LOVATO, P. E.; CURMI, P.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Carbono orgânico total e agregação do solo em sistema de plantio direto agroecológico e convencional da cebola. *R. Bras. Ci. Solo*, 39:1212-1224, 2015.

LOSS, A.; COSTA, E. M.; PEREIRA, M. G.; BEUTLER, S. J. Agregação, matéria orgânica leve e carbono mineralizável em agregados do solo. *Rev. Fac. Agron. Vol 113 (1): 1-8*. 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; COSTA, E. M.; BEUTLER, S. J. Carbon, nitrogen and the natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in macro and microaggregates. *Idesia*, v. 32, p. 15-21, 2014.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; PERIN, A.; COUTINHO, F. S.; ANJOS, L. H. C. DOS. Particulate organic matter in soil under different management systems in the Brazilian Cerrado. *SOIL RES.* v. 50, p. 685-693, 2012.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; GIÁCOMO, S. G.; PERIN, A.; ANJOS, L. H. C. DOS. Agregação, carbono e nitrogênio em agregados do solo sob plantio direto com integração lavoura-pecuária. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 46, n. 10, p.1269- 1276, 2011.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ N.; DOS ANJOS, L. H. C.; DA SILVA, E. M. R. Quantificação do carbono das substâncias húmicas em

diferentes sistemas de uso do solo e épocas de avaliação. R. Bragantia, 2010, Campinas, 69:913- 922.

LOSS, A.; PEREIRA, M. G.; SCHULTZ, N.; DOS ANJOS, L. H. C.; DA SILVA, E. M. R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. Ciência Rural, v.39, n.4, jul, 2009.

LOVATO, T. Dinâmica do carbono e nitrogênio do solo afetada por preparos do solo, sistemas de cultura e adubo nitrogenado. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2001.

LUZ, F. B. DA; ORTIGARA, C.; PIRES, C. A. B.; SOMAVILLA, A.; MORAES, M. T. DE.; SILVA, V. R. DA. Atributos químicos e físicos de um latossolo após aplicações de dejetos líquidos de suínos. Journal of Agronomic Sciences, Umuarama, v.4, n.2, p.224-237, 2015.

MA, J-Y.; SUN, W.; LIU, X-N.; CHEN, F-H. Variation in the stable carbon and nitrogen isotope composition of plants and soil along a precipitation gradient in northern China. PLoS ONE 7(12): e51894. doi:10.1371/journal.pone.0051894. 2012.

MAFRA, M. S. H.; CASSOL, P. C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORREA, J. C.; GROHSKOPF, M. A.; PANISSON, J. Acúmulo de carbono em Latossolo adubado com dejetos líquidos de suínos e cultivado em plantio direto. Pesq.agropec. bras., Brasília, v.49, n.8, p.630-638, ago. 2014.

MÁGUAS, C.; GRIFFITHS, H. Applications of stable isotopes in plant ecology. Progress in Botany, Vol. 64 © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2003.

MATOS, E. DA S.; MENDONÇA, E. DE S.; LEITE, L. F. C.; GALVÃO, J. C. C. Estabilidade de agregados e distribuição de carbono e nutrientes em Argissolo sob adubação orgânica e mineral. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.43, n.9, p.1221-1230, set. 2008.

MELLER, C. B. Tecer, lançar e recolher redes de saberes ambientais de atores sociais que se envolvem com a suinocultura. Tese de Doutorado. Universidade do Vale do Rio dos Sinos. Pós-graduação em Educação. São Leopoldo. 2007

MENEZES, J. F. S.; ANDRADE, C. L. T.; ALVARENGA, R. C.; KONZEN, E. A.; PIMENTA, F. F. Utilização de resíduos orgânicos na agricultura. Ribeirão Preto: AGRISHOW. 2002.

MERGEN JUNIOR, C. A.; LOSS, A.; SANTOS JUNIOR, E.; FERREIRA, G. W.; COMIN, J. J.; LOVATO, P. E.; BRUNETTO, G. Atributos químicos em agregados biogênicos e fisiogênicos de solo submetido à aplicação com dejetos suínos. REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS, v.14, p01-10, 2019.

MIKHA, M. M.; RICE, C. W. Tillage and manure effects on soil and aggregate-associated carbon and nitrogen. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 68, Maio - Junho 2004.

MIYAZAWA, M.; BARBOSA, G. M. DE C. Dejeito líquido de suíno como fertilizante orgânico: método simplificado. IAPAR, Londrina, Boletim Técnico Nº 84. 2015.

MORAES, M. T. DE.; ARNUTI, F.; SILVA, V. R. DA.; SILVA, R. F. DA.; BASSO, C. J.; ROS, C. O. DA. Dejetos líquidos de suínos como alternativa a adubação mineral na cultura do milho. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.35, n. 6, p. 2945-2954, nov./dez. 2014.

MORAIS, D. H. DE O.; ROSSET, J. S.; SILVA, C. A. DA; SANTOS, T. M. D. DOS; CASTILHO, S. C. DE P. Frações físicas granulométricas da matéria orgânica em diferentes sistemas de manejo. VIII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais. Campo Grande/MS – 27 a 30/11/2017.

MUNIZ, A. W.; CORRÊA, R. B.; FONTES, J. R. A.; OLIVEIRA, I. J. DE. Acúmulo de carbono orgânico no sistema de plantio direto de milho no Amazonas. Embrapa.Circular Técnica 48.ISSN 1517-2449.Manaus, AM. Fevereiro, 2015.

MURPHY, B. W. Soil organic matter and soil function – Review of the Literature and Underlying Data. Department of the Environment, Canberra, Australia. 2014.

NDEGWA, P. M.; HRISTOV, A. N.; AROGO, J.; SHEFFIELD, R. E. A review of ammonia emission mitigation techniques for concentrated

animal feeding operations. *Biosystems Engineering*, San Diego, v.100, n.4, p.453-469, 2008.

NEVES, C. S. V. J.; FELLER, C.; LARRÉ-LARROUY, M. C. Matéria orgânica nas frações granulométricas de um latossolo vermelho distroférico sob diferentes sistemas de uso e manejo. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 26, n. 1, p. 17-26, jan./mar. 2005.

NICOLOSO, R. DA S.; CORRÊA, J. C.; AITA, C.; GRAVE, R. A.; REBELLATTO, A.; MATTEL, R. M. Acúmulo de nitrogênio e produtividade do milho adubado com dejetos líquidos de suínos aplicado em superfície ou injetado no solo com ou sem inibidor de nitrificação in: III Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais. São Pedro, mar. 2013.

OADES, J. M; Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil*. 76. 1984.

OLIVEIRA, G. F. DE; ROTERS, D. F.; PRAZERES, M. S. Aplicação de diferentes formas de fertilizante orgânico no solo para o rendimento da cultura do *Zea mays*. *Agroecossistemas*, v. 9, n. 1, p. 11 – 20, 2017, ISSN online 2318-0188.

OLIVEIRA, J. G. R. DE.; TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G. M. DE C. Alterações na física do solo com a aplicação de dejetos animais. *Geographia Opportuno Tempore*, Londrina, v. 2, n. 2, Edição Especial, p. 66-80, 2016.

PEDRA, W. N.; PEDROTTI, A.; SILVA, T. O.; MACEDO, F. L. DE.; GONZAGA, M. I. S. Estoques de carbono e nitrogênio sob diferentes condições de manejo de um Argissolo Vermelho Amarelo, cultivado com milho doce nos tabuleiros costeiros de Sergipe. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 33, n. 6, p. 2075-2090, nov./dez. 2012.

PEGORARO, R. F.; SILVA, I. R. DA; NOVAIS, R. F. DE.; BARROS, N. F. DE.; CANTARUTTI, R. B.; FONSECA, S. Abundância natural de ¹⁵N e formas de nitrogênio em argissolo cultivado com eucalipto e acácia. *Ci. Fl.*, v. 26, n.1, jan.-mar., 2016.

PELLEGRIN, M. A. B. P.; MURARO, D. S.; BASSO, C. J.; DE AGUIAR, A. C. M.; WERNER, A. Estratégias de manejo do dejetos líquido de suínos associado com inibidores de nitrificação na produção

de massa seca do trigo. XI Reunião Sul-Brasileira de Ciência do Solo. Frederico Westphalen, RS, 2016.

PESSENDA, L. C. R.; BOULET, R.; ARAVENA, R.; ROSOLEN, V.; GOUVEIA, S. E. M.; RIBEIRO, A. S.; LAMOTTE, M. Origin and dynamics of soil organic matter and vegetation changes during the Holocene in a forest savanna transition zone, Brazilian Amazon region. *Holocene*, v.11, p. 250-254, 2001.

PINHEIRO, E. F. M.; PEREIRA, M. G.; ANJOS, L. H. C.; MACHADO, P. L. O. A. Fracionamento densiométrico da matéria orgânica do solo sob diferentes sistemas de manejo e cobertura vegetal em Paty do Alferes (RJ). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 731-737, 2004.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *Europe J. Soil Sci.* 1995.

QUADRADO, M. S.; CASTILHOS, D. D.; CASTILHOS, R. M. V.; VIVIAN, G. Biomassa e atividade microbiana em solo acrescido de dejetos suíno. *R. Bras. Agrociência*, Pelotas, v.17, n. 1-4, p.85-93, jan-mar, 2011.

RECH, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; CORRÊA, J. C.; NICOLOSO, S.; BORTOLINI, D.; DA COSTA, A. Injeção de dejetos líquido de suínos nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho Distroférico. *Congresso Brasileiro de Ciência do Solo*. Julho/Agosto, 2013.

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

SCHERER, E. E., AITA, C., BALDISSERA, I. T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. Florianópolis, EPAGRI, 46p. (Boletim Técnico, 79), 1996.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT, J. A. A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico aluminico submetido a

diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo. II - Perdas de nutrientes e carbono orgânico. R. Bras. Ci. Solo, 24:437-447, 2000.

SCHMITZ, D.; LOSS, A.; LOURENZI, C. R.; MULLER JUNIOR, V.; DA VEIGA.; BRUNETTO, G.; COMIN, J. J. Atributos físicos de Cambissolo Húmico submetido a fontes de nitrogênio em pomar de macieira. *Comunicata Scientiae (Print)*, v.8, p. 316-325, 2017.

SCHNITZER, M. Binding of humic substances by mineral colloids. In: Huang, P. M.; Schnitzer, M (Ed.). *Interactions of soil minerals with natural organics and microbes*. Wisconsin: SSSA, 1986. p.77-101.

SEDIYAMA, M. A. N.; MAGALHÃES, I. DE P. B.; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. DE O.; CARDOSO, D. S. C. P.; FONSECA, M. C. M.; CARVALHO, I. P. L. DE. Uso de fertilizantes orgânicos no cultivo de alface americana (*Lactuca sativa* L.) 'Kaiser'. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS)*, v.6, n.2, p.66-74, Junho, 2016.

SEGANFREDO, M. A. A questão ambiental na utilização de dejetos de suínos como fertilizante do solo. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 35 p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular técnica, 22). 2000.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 16, n.3, p.129-141, set./dez. 1999.

SEIDEL, E. P; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; VANIN, J. P.; STREY, L.; SCHWANTES, D.; NACKE, H. Aplicação de dejetos de suínos na cultura do milho cultivado em sistema de plantio direto. *Acta Scientiarum Technology*, Maringá, v. 32, n. 2, p. 113-117, 2010.

SEVERO, F. F. Carbono total e abundância natural de ¹³C em perfis de solo sob plantio de eucalipto. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. 2015

SILVA, M. J. R. DA; MIRANDA, J. B. DE. A matéria orgânica e sua influência nas frações granulométricas do solo e nos limites de Atterberg. I Congresso internacional das ciências agrárias – COINTER – PDVAgro 2016.

SILVA, D. M. DA; ANTONIOLLI, Z. I.; JACQUES, R. J. S.; SILVEIRA, A. DE O.; SILVA, D. A. A. DA; RACHE, M. M.;

PASSOS, V. H. G.; SILVA, B. R. DA. Indicadores microbiológicos de solo em pastagem com aplicação sucessiva de dejetos de suínos. R. Bras. Ci. Solo, 39:1585-1594, 2015.

SILVA, V. M. DA; RIGO, M. M.; MARTINS, C. A. DA S.; MENDONÇA, E. DE S. Impacto da adubação orgânica sobre os estoques de carbono e nitrogênio e a qualidade da matéria orgânica do solo. ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, N.14; 2012.

SILVEIRA, F. DE M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F. M.; SILVA, E. D. B. DA. Dejeito líquido bovino em plantio direto: perdas de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. R. Bras. Ci. Solo, 35:1759-1767, 2011.

SIX, J.; PAUSTIAN, K.; ELLIOTT, E. T.; COMBRINK, C. Soil structure and organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate associated carbon. Soil Science Society of American Journal, v.64. 2000.

SIX, J.; BOSSUYT, H.; DEGRYZE, S.; DENEFF, K. A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. Elsevier. 2004.

SMITH, B.N.; EPSTEIN, S. Two categories of $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ratios for higher plants. Plant Physiology, v. 47, p. 380-384, 1971.

SOUZA, W. J. O.; MELO, W. J. Teores de nitrogênio no solo e nas frações da matéria orgânica sob diferentes sistemas de produção de milho. R. Bras. Ci. Solo, 24:885-896, 2000.

SPARKS, D. L. Environmental soil chemistry. Elsevier Science. Second Edition. 2003.

STEWART, C. E.; PAUSTIAN, K.; CONANT, R. T.; PLANTE, A. F.; SIX, J. Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. Biogeochemistry, 86:19-31. 2007.

SWAP, R. J.; ARANIBAR, J. N.; DOWTY, P. R.; GILHOOLY, W. P.; MACKO, S. A. Natural abundance of ^{13}C and ^{15}N in C_3 and C_4 vegetation of southern Africa: patterns and implications. Global Change Biology 10: 350-358. 2004.

TIMOFIECSYK, A.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. Perdas de carbono e nitrogênio com aplicação de dejetos líquido bovino em latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural. R. Bras. Ci. Solo, 36:1924-1930, 2012.

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water stable aggregates in soil. Journal of Soil Science. 33(1):141-163. 1982.

TRUMBORE, S.; CAMARGO, P. B. DE. Dinâmica do carbono do solo. American Geophysical Union. 2009.

VICENTE, T. F. DA.; PEDROSA, E. M. R.; ROLIM, M. M.; OLIVEIRA, V. S.; OLIVEIRA, A. K. S.; SOUZA, A. M. P. L. Relações de atributos do solo e estabilidade de agregados em canaviais com e sem vinhaça. R. Bras. Eng. Agr. Ambiental, v.16, n.11, p.1215-1222. 2012.

WHALEN, J. K., HU, Q., LIU, A. Manure applications improve aggregate stability in conventional and no-tillage systems. Soil Sci. Soc. Am. J. 67, 1842 – 1847. 2003.

WHITBEARD, A. M. Soil organic matter: Its fractionation and role in soil structure. Department of Agronomy and Soil Science, University of New England, Armidale, NSW 2351, Australia. 1996.

WITTMER, M. H. O. M.; AUERSWALD, K.; BAI, Y. F.; SCHAUFLELE, R.; SCHNYDER, H. Changes in the abundance of C₃/C₄ species of Inner Mongolia grassland: evidence from isotopic composition of soil and vegetation. Global Change Biology 16: 605–616. 2010.

YAGÜE, M. R.; BOSCH-SERRA, A. D.; ANTÚNEZ, M.; BOIXADERA, J. Pig slurry and mineral fertilization strategies effects on soil quality: macroaggregate stability and organic matter fractions. Sci. Total Environ. 438, 218-224. 2012.

YODER, R. E. A. Direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. Journal American Society Agriculture, v. 28, 1936.

ZAMAN, M.; SAGGAR, S.; BLENNERHASSETT, J. D.; SINGH, J. Effect of urease and nitrification inhibitors on N transformation, gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, pasture yield and N uptake in grazed pasture system. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 1270–1280. 2009.