

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DOUTORADO EM MANEJO DO SOLO**

MARIA SUELI HEBERLE MAFRA

**ESTOQUE E FRACIONAMENTO FÍSICO DO CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO SUÍNO**

LAGES, SC

2013

MARIA SUELI HEBERLE MAFRA

**ESTOQUE E FRACIONAMENTO FÍSICO DO CARBONO ORGÂNICO EM
LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO SUÍNO**

Tese apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Doutor no
Curso de Pós-graduação em Manejo do
Solo da Universidade do Estado de Santa
Catarina - UDESC.

Orientador: Dr. Paulo Cezar Cassol
Co-orientadores:
Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Dr. Paulo Roberto Ernani
Dr. Juliano Corulli Corrêa

LAGES, SC

2013

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária
Renata Weingärtner Rosa – CRB 228/14ª Região
(Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC)

Mafra, Maria Sueli Heberle.

Estoque e fracionamento físico do carbono orgânico em Latossolo sob
plantio direto com aplicação de dejetos suíno. / Maria Sueli Heberle
Mafra; orientador: Paulo Cezar Cassol. – Lages, 2013.
88f.

Inclui referências.

Tese (doutorado) – Centro de Ciências Agroveterinárias /
UEDESC.

1. Esterco. 2. Adubo orgânico. 3. Milho. 4. Fracionamento.
5. Agregação. I. Título.

CDD – 631.86

MARIA SUELI HEBERLE MAFRA

ESTOQUE E FRACIONAMENTO FÍSICO DO CARBONO ORGÂNICO EM LATOSSOLO SOB PLANTIO DIRETO COM APLICAÇÃO DE DEJETO SUÍNO.

Tese apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Manejo do Solo da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Banca Examinadora:

Orientador: _____
Professor Dr. Paulo Cezar Cassol
Universidade do Estado de Santa Catarina

Co-orientador: _____
Professor Dr. Jackson Adriano Albuquerque
Universidade do Estado de Santa Catarina

Co-orientador: _____
Pesquisador Dr. Juliano Corulli Corrêa
EMBRAPA Suínos e Aves

Membro: _____
Professor Dr. Luciano Colpo Gatiboni
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro: _____
Dra. Carla Maria Pandolfo
EPAGRI – Campos Novos

Lages, 22 de fevereiro de 2013

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça da vida e da saúde.

À Universidade do Estado de Santa Catarina, pela oportunidade e qualidade do ensino.

Ao Professor Paulo Cezar Cassol pela orientação e amizade.

Aos co-orientadores Professores Jackson Adriano Albuquerque, Paulo Roberto Ernani e Juliano Corulli Corrêa pelas contribuições durante o trabalho de pesquisa.

À CAPES e PROMOP pela concessão da bolsa de estudo.

Ao produtor rural Celso Retore, pela cessão da área experimental e pelo apoio na condução do experimento.

A Dra. Carla Maria Pandolfo, ao Dr. Juliano Corulli Correa e ao Prof. Dr. Luciano Colpo Gatiboni pela disposição em fazer parte da banca de avaliação deste trabalho.

Aos colegas Jovani Zalamena, Marco André Grohskopf, Jonas Panisson, Jhonatan Franzoi, Augusto Friedrichs, Andréia Patrícia Andrade e Luiz Paulo Rauber pela amizade e ajuda nos trabalhos de campo e de laboratório.

A todos os colegas do laboratório de Química e Fertilidade do Solo e o laboratório de Física do Solo pela amizade.

Aos professores, funcionários e pós-graduandos ligados ao Programa de Pós-graduação em Ciências Agrárias pelo apoio e amizade.

A todos os meus familiares, em especial meus pais, Paulo e Ana, pelos ensinamentos sábios durante a minha vida.

Ao Álvaro, meu esposo e ao Vicente, meu filho, pelo amor, incentivo e apoio.

As minhas amigas Hilda Baumann e Celina André Machado pela amizade, conforto e ânimo nos momentos mais difíceis.

Aos contribuintes pelos impostos convertidos em ciência.

*" É fundamental diminuir a distância
entre o que se diz e o que se faz, de tal
maneira que num dado momento a tua
fala seja a tua prática."*

Paulo Freire

RESUMO

MAFRA, Maria Sueli Heberle. **Estoque e fracionamento físico do carbono orgânico em Latossolo sob plantio direto com aplicação de dejetos suíno**. 2013. 88f. Tese de Doutorado em Manejo do Solo. Área: Fertilidade e Nutrição de Plantas. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2013.

A expansão da suinocultura brasileira, especialmente na região oeste catarinense, tem contribuído para o desenvolvimento econômico regional, porém os sistemas de criação de suínos geram grandes volumes de dejetos suínos (DS). A destinação final desse resíduo deve ser feita de modo sustentável, o que pode ser obtido através do seu uso como fertilizante e condicionador do solo. O uso de DS visando o fornecimento de nutrientes aos vegetais é normalmente praticado pelos suinocultores, juntamente com o manejo do solo em plantio direto (PD). Porém, ainda restam dúvidas sobre a influência do DS nas propriedades do solo, bem como sobre o potencial de fixação de carbono orgânico do solo (COS) nos diversos compartimentos através do tempo. O objetivo desse trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação anual de doses de DS, adubo solúvel (AS) e combinação (DS+AS) no teor de carbono orgânico total (COT), frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM), bem como, em classes de agregados do solo e estimar a evolução dos estoques de COT, COP e CAM nessas formas de adubação em Latossolo Vermelho sob PD. O experimento foi instalado a campo em 2001, no município de Campos Novos-SC com os seguintes tratamentos: adubo solúvel (AS); DS na dose de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ combinado ao adubo solúvel (DS+AS); e, DS nas doses zero (sem adubação, DS0), 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS200). O delineamento foi em blocos casualizados. A análise do COT foi realizada em amostras de solo coletadas nos anos de 2006, 2010 e 2012 e a análise de COP, CAM e de COT em classes de agregados, no ano de 2010. Foram calculados através de modelos matemáticos as taxas de fixação de C real e aparente (TFCr e TFCa, respectivamente) e o índice de manejo do carbono (IMC). Doses crescentes de dejetos suínos proporcionaram maior teor e estoque de COT até a profundidade de 10 cm, com ênfase para a camada superficial de 5 cm. Os maiores teores de COT foram observados nas doses superiores a $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS. A dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ resultou em teores de COT semelhantes aos observados nos tratamentos DS+AS e AS. Os teores de C nos tratamentos DS25 e AS foram semelhantes. Os teores de COP foram maiores nas camadas superficiais até 5 cm e apresentaram maior amplitude nas diferenças entre tratamentos se comparada a CAM. A estabilidade de agregados não foi afetada pelos tratamentos, porém o teor de C nos agregados maiores que 2 mm aumentou com as doses de DS até $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e estabilizou nas doses 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A ausência de variação nas taxas de fixação de C real e aparente entre os tratamentos com dose 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, são indícios da saturação por C do solo. As taxas de fixação de C real dos tratamentos aumentaram com as doses de DS seguindo um modelo exponencial tendendo a um valor máximo dentro da faixa de 1,6 a 2,0 $\text{Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e que corresponde a dose na faixa de 50 a $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O tratamento com a dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ apresentou o maior índice de labilidade e consequentemente o melhor IMC, com base no estoque de COP.

Palavras chave: Esterco. Adubo orgânico. Milho. Fracionamento. Agregação.

ABSTRACT

MAFRA, Maria Sueli Heberle. **Organic carbon stock and physical fractionation in Oxisol under no-till system with pig slurry treatments.** 2013. 88f. Tese de Doutorado em Manejo do Solo. Área: Fertilidade e Nutrição de Plantas. Universidade do Estado de Santa Catarina – Centro de Ciências Agroveterinárias, Lages, 2013.

The expansion of Brazilian pig production, especially in western Santa Catarina, has contributed to economic development, but the intensive pig farming systems generate large amount of pig slurry (DS). The disposal of this manure should be done in a sustainable manner, which can be obtained through its use as fertilizer and soil conditioner. The use of DS to provide nutrients to crop plants is generally practiced by pig farmers, associated with no-till (NT) soil management. However, there are still doubts about the effects of DS on soil properties, as well as on the potential to stock soil organic carbon (COS) in different compartments over time. The aim of this study was to evaluate the effects of annual inputs of DS rates, compared to fertilization with soluble fertilizer (AS) and combined fertilization (DS + AS), on total organic carbon contents (TOC), and on particulate (COP) and mineral-associated fractions (CAM), as well as in different soil aggregate size classes and to estimate the evolution of COT, COP and CAM stocks according to these treatments on a Red Oxisol under no-till system. The experiment was established in 2001, in Campos Novos, SC, and comprised the following treatments: soluble fertilizer (AS); soluble fertilizer combined with pig slurry rate of $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (DS+AS) and pig slurry rates of zero (no fertilization, DS0); 25 (DS25), 50 (DS50), 100 (DS100) and $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ (DS200), in a randomized complete block design. The COT analyses were performed on samples collected in the years 2006, 2010 and 2012, and COP, CAM and COT in different aggregate size classes were analyzed, only in 2010. We calculated using mathematical models the real and apparent C fixation rates (TFCr and TFCa, respectively) and carbon management index (IMC). Increasing pig slurry rates provided higher COT contents and stocks to a depth of 10 cm, with emphasis on the surface layer of 5 cm. The highest COT contents were observed in treatment rates higher than $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ DS. The DS50 treatment resulted in COT content similar to those observed in AS and DS+AS. The COT contents in AS and DS25 treatments were similar. The COP contents were higher in the surface layers up to 5 cm and showed greater differences between the treatments compared to CAM. The aggregate stability was not affected by the treatments, and C content in aggregates larger than 2 mm increased up to the DS rates of $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ and stabilized in the DS rates of 100 and $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. The absence of variation in real and apparent annual C fixation rates in treatments with 100 and $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, are indications of soil C saturation. The real C fixation rates increased with DS rates, following an exponential model reaching a maximum value in the range of 1.6 to $2.0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, corresponding to DS rates from 50 to $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$. Treatment with DS rate of $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ showed the highest index of lability and therefore the best IMC, based on the COP stock.

Keywords: Manure. Organic fertilizer. Corn. Fractionation. Aggregation.

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Características da mineralogia do solo da região de Campos Novos onde se situa a área experimental. 31
- Tabela 2. Composição granulométrica nas camadas de 0-5, 0-10 e 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Campos Novos/SC, 2001. 32
- Tabela 3. Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférrico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001..... 32
- Tabela 4. Características químicas do dejetos suíno aplicado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2011 em um Latossolo Vermelho Distroférrico 34
- Tabela 5. Teores de carbono orgânico total (g kg⁻¹) e estoque de COT (Mg ha⁻¹) no solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, no ano de 2010 de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a tratamentos com doses crescentes de dejetos suíno, adubo solúvel e combinados, conduzidos em sistema de plantio direto..... 39
- Tabela 6. Média dos teores de COT e valores relativos no ano de 2010 em relação ao teor de COT em 2001 na camada de 0-20 cm em um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a tratamentos com doses crescentes de dejetos suíno, adubo solúvel e combinados, em cultivo de milho no verão e aveia preta no inverno, conduzidos em sistema de plantio direto..... 40
- Tabela 7. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2006 correspondente ao quinto ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto.. 41
- Tabela 8. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2010 correspondente ao nono ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto..... 43
- Tabela 9. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2012 correspondente ao décimo primeiro ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto..... 44
- Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total nas camadas de 0 a 2,5, 2,5 a 5 e 5 a 10 cm, em avaliações realizadas em 2006, 2010 e 2012 em um LV, cultivado com a sucessão milho aveia, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto,..... 46

Tabela 11. Teores e estoques de carbono orgânico na fração particulada (COP) > 53 µm em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.	49
Tabela 12. Teores e estoques de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) < 53 µm em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.	51
Tabela 13. Relação COP/COT em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.	53
Tabela 14. Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de dejetos suíno (DS), adubo solúvel (AS) e combinação (DS+AS), em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.	55
Tabela 15. Teor de C dos agregados nas classes: 1 (> 4,76 mm); 2 (4,76 – 2,00 mm); e, 3 (< 2 mm), em LV submetido de doses crescentes de dejetos suíno (DS), adubo solúvel (AS) e combinação (DS+AS), em sistema de plantio direto.....	57
Tabela 16. Média dos estoques de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 20 cm, no ano de 2010 e 2012, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto.	65
Tabela 17. Taxas de fixação de C real (TFCr) em Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ , até 20 cm de profundidade, o ano 2001 foi utilizado como referência em relação aos anos 2010 e 2012 $TFCr = (C_{t_{rtu}} - C_{t_{rt0}}) / (t_u - t_0)$	66
Tabela 18. Taxa de fixação de C aparente anual (Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹) afetadas pelos tratamentos com DS, e adubação combinada DS+As, na profundidade de 0 a 20 cm, relativa ao tratamento com adubo solúvel (AS). $TFCa_t = (C_{DS_{tu}} - C_{AS_{tu}}) / (t_u - t_0)$...	67
Tabela 19. Índice de eficiência de C (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo do C (IMC) calculado para a camada de 0 a 20 cm, de um LV, submetido a tratamentos de doses crescentes de DS, adubo solúvel e adubo combinado, sob sistema de plantio direto durante 9 anos.....	69

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Croqui da área experimental com a distribuição espacial dos tratamentos. Os números 1; 2; 3; 4; 5; 6 e 7; correspondem aos tratamentos DS0 (sem adubação), adubação solúvel; adubação solúvel combinada com 25 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; e as doses 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suíno..... 33
- Figura 2. Estoques de carbono no solo relacionado com as doses de dejetos suíno adicionado (0-10 cm), em LV cultivado com a sucessão milho aveia, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto..... 47
- Figura 3. Estoques de C na fração particulada (COP) e associada aos minerais (CAM) na camada de 0 a 20 cm. Letras comparam os tratamentos AS, DS+AS e doses de DJ pelo teste médias de acordo com Tukey (P<0,05). As porcentagens representam a relação (COP/COT*100) relacionado com as doses de dejetos suíno adicionado em LV cultivado com milho, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto..... 54
- Figura 4. Relação entre os teores de C nos agregados nas classes 1 (> 4,76 mm); 2 (4,76 – 2,00 mm); e, 3 (< 2 mm) e as doses de DS aplicados (m³ ha⁻¹ano⁻¹), em 9 anos de aplicações sob sistema de plantio direto em LV..... 59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL	12
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3	HIPÓTESES	26
4	OBJETIVO	26
4.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS :.....	26
5	CAPÍTULO I. TEORES TOTAIS E ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO, NAS FRAÇÕES FÍSICAS E EM CLASSES DE AGREGADOS EM LV SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE DEJETO SUINO	27
	RESUMO.....	27
5.1	INTRODUÇÃO	28
5.2	MATERIAL E MÉTODOS	30
5.2.1	Descrição do local	30
5.2.2	Clima e solo	31
5.2.3	Tratamentos aplicados e delineamento experimental	32
5.2.4	Composição química do dejetos de suíno	33
5.2.5	Amostragem do solo	34
5.2.6	Estoques de carbono no solo e nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM)	36
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.3.1	Teores e estoques de COT em camadas até 40 cm de profundidade	38
5.3.2	Teores e estoques de carbono orgânico total no solo até 10 cm – comparação com os anos de 2006 e 2012	41
5.3.3	Teores e estoques de carbono orgânico nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM)	48
5.3.4	Estabilidade dos agregados	55
5.3.5	Teor de C em classes de agregados	56
5.4	CONCLUSÕES	56
6	CAPÍTULO II. TAXAS DE FIXAÇÃO DE CARBONO E ÍNDICE DE MANEJO DO CARBONO EM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE DS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO	61
6.1	INTRODUÇÃO	62
6.2	MATERIAL E MÉTODOS	63
6.2.1	Amostragem do solo da Mata	63
6.2.2	Taxas de fixação de C	63
6.2.3	Cálculo do índice de manejo do carbono	64
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
6.3.1	Taxas anuais de fixação de C ao solo manejo de carbono (IMC)	65
6.4	CONCLUSÕES	69
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73

APÊNDICE A	86
APÊNDICE B.....	87
APÊNDICE C.....	88

1 INTRODUÇÃO GERAL

A produção de suínos constitui uma atividade econômica importante em diversas regiões agrícolas do Sul do Brasil. A atividade emprega elevado nível tecnológico e os animais permanecem na maioria das situações em regime de total confinamento até o abate. O aumento de escala das unidades de produção de suínos aumentou a eficiência e o retorno total melhorando o rendimento econômico para os produtores. Entretanto, esses sistemas de criação de animais geram grandes volumes de resíduos na forma de dejetos suíno (DS) que necessitam ser destinados de forma sustentável e uma das alternativas para isso é a sua utilização como fertilizante e condicionador do solo.

Por outro lado, o uso intensivo do solo e a utilização de fertilizantes solúveis em sistema de produção convencional, em geral ocasionam a perda gradual dos teores de matéria orgânica dos solos. O uso de DS como alternativa para aumentar os teores de matéria orgânica (MO) e a capacidade produtiva do solo através dos benefícios indiretos da MO é valorizado pelos produtores, juntamente com manejo do solo em sistema de plantio direto (PD) (BAYER et al., 2000a; SISTI et al., 2004). Esta forma de administrar a questão, por um lado destinando o resíduo dos suínos no solo e do outro buscando aumentar os teores de MO do solo, além de outros benefícios relacionados ao uso de adubação orgânica levou a uma mudança no modo como os produtores de animais manejam o resíduo que passou a ser encarado como fertilizante (RISSE et al., 2001). Com isto, a utilização desse recurso pode se tornar excessiva, já que a grande abundância de dejetos tem acentuado o potencial poluidor no ambiente, devido a sua aplicação em quantidades elevadas nos solos. (PANDOLFO, 2005; RISSE et al., 2001). A aplicação de dejetos no sistema de plantio direto, cuja área vem aumentando significativamente nos últimos anos na Região Sul, é feita sem incorporação ao solo. Essa modalidade de aplicação dos dejetos sobre os resíduos culturais de plantas de cobertura ou de plantas invasoras deverá ter implicações diferentes daquelas avaliadas no sistema convencional, especialmente na dinâmica do C e do N no solo (AITA et al., 2006).

Considerando-se a presença de carbono orgânico, a aplicação de DS pode aumentar os teores de COT no solo. Porém, quando o dejetos suíno, rico em N mineral, é aplicado sobre a biomassa dos resíduos culturais de cereais caracterizados pelo elevado teor de C facilmente decomponível e pelo baixo teor em N, pode acelerar a decomposição dos resíduos culturais e aumentar as emissões de CO₂ para a atmosfera. Assim, consideram-se necessários novos

estudos visando analisar a relação entre doses de DS aplicadas e quantidade de C fixado no solo.

O presente estudo teve por objetivo avaliar teores de carbono orgânico total no solo e as frações do carbono orgânico particulado (COP), associado aos minerais (CAM) e em classes de agregados, em Latossolo Vermelho Distroférico, conduzido sob sistema PD e submetido a aplicações anuais de doses de DS, adubação mineral e combinados e analisar as taxas anuais de fixação de C em relação as doses de DS aplicadas e o tempo de aplicação.

Foram realizados dois estudos, um para avaliar os efeitos da adubação com adubos solúveis isoladamente ou combinados com DS e doses de DS nos teores totais de C orgânico no solo, nas frações físicas (particulado e associado aos minerais), e em classes de agregados, e os estoques de C total, particulado e associado aos minerais, em Latossolo Vermelho Distroférico (LV) cultivado com a sucessão aveia-milho. O outro estudo avaliou a fixação de C orgânico através de cálculos das taxas anuais de fixação de C real e aparente e sua relação com as doses de DS adicionado ao solo assim como, a quantidade e qualidade do C adicionado através do índice de manejo do carbono (IMC).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A produção de animais gera resíduos cuja disposição final deve ser realizada de forma a gerar o mínimo de impacto ambiental. O Brasil detém hoje o quarto maior plantel suíno do mundo, com um rebanho superior a 39 milhões de cabeças com destaque para a região Sul, onde o Estado de Santa Catarina é um dos maiores produtores de suínos do país com 9 milhões de cabeças, seguido por Rio Grande do Sul, com 6 milhões, e Paraná, com 5 milhões, de acordo com a Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína (ABIPECS, 2013). A previsão de aumento para suínos prevê taxa de crescimento em 2,0 % ao ano, o que correspondem aumento de 24 % até o ano de 2020 (AGE/MAPA 2010). O rebanho industrial de suínos brasileiro gera anualmente 105 milhões de m³ de dejetos suínos. Esse resíduo contém cerca de 36.0000 Mg de N, 150.000 Mg de P₂O₅, 160.000 Mg de K₂O e 2.200.000 Mg de C (BENITES et al., 2010).

A geração de dejetos deverá aumentar na mesma proporção do crescimento das atividades pecuárias, acarretando passivo ambiental relacionado à destinação desses resíduos na agricultura, e com isso a importância estratégica do desenvolvimento de tecnologias que permitam o reaproveitamento desses resíduos como insumo (BENITES et al., 2010). A maior parte da produção suína concentra-se nas regiões oeste e sul do estado e se caracteriza por pequenas propriedades (95% possuem até 50 ha), onde predomina a mão-de-obra familiar (EMBRAPA SUÍNOS E AVES, 2003).

A suinocultura evoluiu nas últimas décadas, como comprovam os índices de produtividade alcançados. No entanto, causa grande ônus ambiental pela poluição dos recursos naturais, como o solo e a água. O correto manejo e tratamento dos dejetos suínos devem ser considerados parte do processo produtivo, exigindo critérios técnicos para a escolha da tecnologia e do nível de tratamento desejado (KUNZ et al., 2005).

As pequenas dimensões das propriedades rurais produtoras de suínos e o relevo acidentado da região fazem com que não haja suficiência de áreas agrícolas para a aplicação agrônômica de todo o resíduo gerado pela suinocultura nessas propriedades (BERTO, 2004). Desse modo, parte dos dejetos é aplicada sobre o solo, sem passar previamente por tratamento ou estabilização, e sem levar em consideração critérios agrônômicos e legais (KUNZ et al., 2005). Nestas condições a contaminação ambiental é inevitável. Numa visão mais ampla, não se devem ignorar outros fatores acumuladores e relevantes que contribuem na severidade dos impactos ambientais. Por isso é imprescindível a adoção de boas práticas voltadas ao

aproveitamento do potencial reciclador de resíduos, revertendo parte do que seria problema em solução e diminuindo custos.

As características físico-químicas dos dejetos estão associadas ao sistema de manejo dos animais adotado e aos aspectos quantitativos e qualitativos das rações usadas, apresentando grandes variações na concentração dos seus elementos entre produtores e dentro da própria granja, especialmente com relação ao manejo da água. Em estudo realizado por Scherer (2002), em 120 esterqueiras da região Oeste Catarinense, evidenciou-se grande variação no teor de nutrientes e na qualidade fertilizante nos dejetos suínos armazenados. Grande parte das amostras coletadas apresentou alto teor de água e baixo teor de nutrientes NPK, inferior ao desejado para utilização econômica desse fertilizante. Aproximadamente metade das amostras coletadas tinha menos de 2% de matéria seca, enquanto a média final de todas as amostras analisadas ficou em 3%, valor abaixo do padrão de 6% de matéria seca, normalmente apresentado por dejetos suínos com boa qualidade fertilizante. No geral, as amostras com baixo teor de matéria seca também apresentam baixa concentração de C orgânico e nutrientes, em média a soma de N, P e K fica em torno de $6,8 \text{ kg m}^{-3}$ (SCHERER, 2002).

O principal destino dos resíduos de suínos e aves no Brasil é o uso agrícola como fonte de nutrientes às plantas, o que pode melhorar atributos químicos, físicos e biológicos relacionados à qualidade do solo, e aumentar os estoques de MOS (KIEHL, 1985; CASSOL et al., 2011; CASSOL et al., 2012). Estudos têm demonstrado que a produção e a qualidade das plantas são equivalentes ou superiores quando adubadas com esterco comparadas com os fertilizantes minerais (RISSE et al., 2001). O DS pode constituir fertilizante eficiente e seguro para as culturas produtoras de grãos, fruticultura, pastagens, reflorestamento e recuperação de áreas degradadas (CORRÊA et al., 2011). Porém, para obtenção de bons resultados agronômicos e ambientais é necessário respeitar o conjunto de práticas agrícolas considerando as características do DS, bem como análise, manejo e conservação do solo, a necessidade nutricional e a produtividade esperada para cada espécie cultural.

A valorização e utilização de forma correta de fertilizantes orgânicos, como o DS, aumentou no sentido de produzir alimentos mais saudáveis como alternativa aos fertilizantes minerais (CORRÊA et al., 2011). Vale também ressaltar a demanda por alimentos de origem orgânica, onde a adubação com adubos minerais de alta solubilidade não é permitida. Os conceitos sobre adubações orgânicas (RUSSEL, 1977) foram estabelecidas com base na reciclagem de resíduos vegetais e esterco de animais alimentados fundamentalmente com pastagens ou silagens, utilizado no sistema tradicional de produção animal, e que originava

poucos problemas ambientais. Deste modo a adubação com dejetos suíno pode constituir uma opção, para suprir as necessidades nutricionais das culturas.

Por outro lado, em decorrência das rações concentradas e de produtos suplementares como cobre e zinco, o DS é constituído de excreções de composição múltipla e desequilibrado em relação às necessidades das plantas (CQFS RS/SC, 1995), especialmente com relação aos micronutrientes (KONZEN, 1980; SCHERER, 1997). A adição de dejetos ao solo acima de sua capacidade de processamento tem consequências ambientais através da transferência de nutrientes para os ambientes aquáticos, causando a eutrofização das águas (CORRELL, 1998). Além da perda de nutrientes, pode resultar em emissão significativa de gases de efeito estufa, principalmente o óxido nitroso (BENITES et al., 2010).

O dejetos suíno é armazenado em esterqueiras ou em lagoas (KUNZ et al., 2004) antes de ser aplicado ao solo. O tempo de armazenamento recomendado nas esterqueiras para estabilização da matéria orgânica e inativação de patógenos é de 120 dias. Durante o armazenamento, o dejetos sofre degradação anaeróbia, já que as esterqueiras geralmente têm profundidade mínima de 2,5 m, podendo ocorrer liberação de gases responsáveis pelo mau odor, principalmente nos meses de verão, quando o aumento da temperatura ambiente favorece a atividade biológica e a volatilização de gases (KUNZ et al., 2005). Além das esterqueiras e lagoas de estabilização, a utilização de biodigestores é uma alternativa para o gerenciamento do dejetos suíno e permite a agregação de valor ao resíduo, mediante a utilização do biogás para geração de energia e calor (PERDOMO et al., 2003).

As esterqueiras e lagoas, desde que corretamente dimensionadas e operadas, são uma opção de baixo custo para produtores que possuem áreas de cultivo suficientes, onde esse resíduo possa ser utilizado como fertilizante orgânico. As recomendações agronômicas para essa prática devem ser respeitadas, levando em conta o balanço de nutrientes, imprescindível para nortear a tomada de decisão e mitigar os impactos ambientais (SEGANFREDO, 1999; GATIBONI et al., 2008; CORRÊA, et al., 2011).

O licenciamento ambiental em Santa Catarina estabelece que para implantação ou expansão da suinocultura em uma propriedade, o produtor deve comprovar que possui área de terra suficiente para o descarte dos dejetos produzidos, sendo permitido um máximo de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS (FATMA, 2004). Em outros estados, como o Rio Grande do Sul, os órgãos de licenciamento ambiental não estabelecem dose máxima de dejetos a ser aplicada ao solo, porém recomenda que seu uso como fertilizante tenha como referencial a quantidade de nutrientes requeridos pelas culturas, baseado em análise de solo (FEPAM, 2004).

Em função disso, restam dúvidas sobre a quantidade de dejetos que se pode adicionar ao solo, e por quanto tempo, sem que haja consequências negativas a esse recurso natural por desequilíbrio iônico, fitotoxicidade às plantas, poluição da atmosfera por volatilização e contaminação das águas de superfície e de sub-superfície por lixiviação, de maneira que os sistemas adubados com esses resíduos sejam auto-sustentáveis.

Entre os efeitos positivos da aplicação de resíduos de animais, em especial o DS, destaca-se a possibilidade de aumentar a matéria orgânica do solo direta e indiretamente. Diversos estudos mostraram que a fertilização com esterco sozinho ou combinado, é mais eficiente para aumentar os teores de COT do que o fertilizante mineral (YANG et al., 2005; BLAIR et al., 1995). A fertilização do solo aumenta a produção de biomassa que também contribui para o aumento do C.

O C entra no sistema por meio da atividade fotossintética de plantas, o que demonstra a importância de sistemas de manejo altamente produtivos, que, associados ao manejo adequado, podem aumentar os estoques de CO do solo (BAYER et al., 2000a; SISTI et al., 2004). A cobertura oferecida pela copa das plantas e resíduos culturais sobre a superfície é a principal estratégia a ser utilizada na conservação do solo, influenciando ainda, aspectos biológicos, físicos e químicos do solo. De acordo com Balesdent e Balabane (1992), a taxa com que o C adicionado passa a compor o COT é maior para o C do sistema radicular das plantas em relação àquele adicionado à superfície do solo, sobretudo, em sistemas de baixa mobilidade do solo, como no sistema de plantio direto e pastagens, fato que demonstra a importância de culturas com sistema radicular abundante, como as gramíneas. Em solos manejados em sistema de plantio direto, têm-se observado ocorrência de acúmulo de carbono orgânico na superfície, mas também aumentos significativos em profundidade que podem ter relação com o acúmulo de C a partir das raízes das plantas (BALESDENT e BALABANE, 1996).

O papel dos componentes vegetais como fonte de carbono orgânico em solos que recebem a adubação com esterco pode ser complementar, incluindo-se aquilo que é adicionado diretamente a partir dos resíduos animais e da produção de fitomassa, que ocorre a partir do efeito fertilizante no solo pelos esterco de animais. Em função desse efeito sinérgico, é de se esperar que a adubação com resíduos orgânicos, comparativamente à adubação com fontes solúveis (ou minerais), para uma mesma quantidade de nutrientes envolvida, possa ter um saldo positivo para a primeira quando o assunto é adição de carbono orgânico ao solo. Neste caso, os esterco teriam um efeito adicional sobre a qualidade do solo, advindo do maior aporte de matéria orgânica ao sistema (soma dos compostos orgânicos do

esterco e da fitomassa e resíduos vegetais aportados ao solo). Considera-se ainda, que o efeito da adição de nutrientes, com estímulo à microbiota do solo, proporcionando mineralização da matéria orgânica do solo seria, à princípio, equivalente entre os adubos orgânicos e solúveis.

Para identificar o papel das plantas no aporte de carbono ao solo, deve-se considerar também a contribuição das raízes, cuja massa varia de 23 a 45% da matéria seca da parte aérea, conforme a cultura e o manejo utilizados (PRAKASH et al., 2002). Gale e Cambardella (2000) observaram em experimento com utilização de ^{14}C , que a maior parte do ^{14}C proveniente da raiz foi associada com as frações silte+argila e particulada (COP), comprovando que em solos pouco revolvidos o COP pode ser derivado principalmente a partir de raízes. Segundo Rasse et al. (2005) a contribuição preponderante do sistema radicular é o aumento dos estoques de C do solo em profundidade (HASSINK, 1997; HASSINK e WHITMORE, 1997).

Nierop (1998) estudando a composição de matéria orgânica em horizontes B observou que uma substancial proporção de matéria orgânica do solo é derivada de suberina, que é a camada protetora das raízes. O acúmulo de C orgânico proveniente de raízes representa a principal forma de adição de C em sub-superfície, enquanto a incorporação do material orgânico proveniente da parte aérea das culturas ocorre, principalmente, até a profundidade equivalente aos implementos de corte utilizados no manejo do solo, em torno de 20–30 cm (TORMENA et al., 2004). A avaliação dessa contribuição é importante, porque o C radicular apresenta menor taxa de decomposição, quando comparado ao da parte aérea (BALESDENT e BALABANE, 1996), além de ficar mais protegido da atividade microbiológica pela capacidade das raízes de penetrar nos microagregados do solo (CALEGARI, 2006).

Swinnen et al. (1994) observaram que durante o período de crescimento de trigo e cevada na Holanda, o acúmulo de C da parte aérea foi 5.730 kg ha^{-1} e $2.310 \pm 90 \text{ kg ha}^{-1}$ de C foram translocados para as raízes. Destes, $920 \pm 150 \text{ kg ha}^{-1}$ C foram perdidos na respiração radicular e $500 \pm 120 \text{ kg C ha}^{-1}$ foram incorporados ao solo por rizodeposição. Para o mesmo autor, o crescimento da raiz atingiu $940 \pm 40 \text{ kg C ha}^{-1}$, dos quais, no entanto, $370 \pm 40 \text{ kg C ha}^{-1}$ foram depositados pela morte das raízes. A maior parte da entrada de C orgânico ao solo (56-64%) ocorreu através da rizo-deposição, enquanto 36-44% foi composto pela biomassa de raízes após a colheita da cultura.

A adição de CO ocorre via síntese de compostos orgânicos pela fotossíntese e as perdas ocorrem pela liberação de CO_2 na respiração, pela decomposição microbiana dos resíduos e pelas perdas de compostos orgânicos por lixiviação e erosão. Os fatores determinantes primários dos processos de ciclagem de C são os mesmos da formação do solo,

exercendo influência sobre o aporte de resíduos e sobre as saídas de C do solo (STEVENSON, 1994). Os materiais orgânicos no solo passam principalmente pelos processos de decomposição pela ação biológica.

O conteúdo de MOS é determinado pela diferença entre as quantidades de carbono adicionadas e perdidas (BAYER e MIELNICZUK, 1997), sendo sua variação no tempo expressa pela equação:

$$dC/dt = K_1 \cdot A - K_2 \cdot C$$

onde: “A” representa o carbono fotossintetizado e adicionado ao solo na forma de resíduos orgânicos, exsudatos radiculares e raízes; o “C” representa o carbono da matéria orgânica no solo; “K₁” e “K₂” representam os coeficientes associados a humificação e mineralização, respectivamente. O carbono efetivamente adicionado (“A”) e retido na matéria orgânica (humificação) é modificado pelos valores de “K₁”. A quantidade perdida para a atmosfera na forma de decomposição microbiana, lixiviação e erosão são afetadas pelos valores de “K₂”. Esses coeficientes são afetados por fatores climáticos como temperatura e umidade, tipo de solo (textura, mineralogia) e pelas práticas de manejo, especialmente o grau de revolvimento do solo. Alguns autores relatam que os valores de K₂ são em torno de 10% mais elevados nas regiões tropicais e subtropicais (CERRI, 1986; BAYER et al., 2003), enquanto que nas regiões temperadas essas taxas são inferiores a 2% (BALESDENT et al., 1990).

No Processo de humificação parte dos resíduos orgânicos do solo é transformada em húmus que compõe a fração mais estável e a que mais contribui para a manutenção dos teores de COT no solo. De acordo com Cerri e Volkoff (1988), a humificação da MOS e consequente fixação de COT é influenciada pela temperatura, presença ou ausência de cátions básicos no solo, nitrogênio e drenagem. Em Latossolos a MOS tem papel fundamental na fertilidade, devido a seu alto grau de intemperização se caracterizam por sua baixa fertilidade natural. Por esta razão, é importante a adoção de práticas que mantenham teores adequados de COT, assegurando a qualidade química, física e biológica do solo (SANTOS e CAMARGO, 1999). Por outro lado, a adição de DS ao solo também pode favorecer o processo de mineralização da matéria orgânica nativa do solo, devido ao alto teor de N (GIACOMINI e AITA, 2008).

Para que o material orgânico adicionado seja acumulado na forma de MOS, ocorrem três processos de estabilização principais (CHRISTENSEN, 1992): 1) Estabilização

bioquímica ou recalcitrância; 2) Estabilização química; e 3) Proteção física. A estabilização bioquímica depende das características intrínsecas do substrato, tais como teores de lignina, celulose e relação C/N, assim como da presença de grupamentos funcionais de C aromáticos e alifáticos de cadeia longa, que conferem resistência à decomposição biológica. A estabilização química está relacionada a ligações entre os compostos orgânicos e as frações minerais do solo, responsáveis pela proteção coloidal, que de acordo com a complexidade química dos compostos organo-minerais, irá determinar a velocidade de decomposição do C armazenado no solo. A estabilização física depende da estrutura do solo, ocorrendo especialmente no interior dos agregados, que limitam o acesso dos microrganismos aos compostos orgânicos. A menor difusão do oxigênio no interior dos agregados, e o menor acesso das enzimas dos microrganismos têm sido apontados como determinantes deste mecanismo (SIX et al., 2002). A quantidade de COT estabilizado depende dos mecanismos físico, químico e bioquímico. A capacidade de fixar C é limitada pela atuação desses mecanismos e pela característica mineralógica e textural do solo. Por esta razão, os incrementos na fixação de COT em determinadas condições não são lineares de acordo com o C adicionado. Existe um máximo que pode ser alcançado em cada solo (SIX et al., 2002). Como exemplo, Dieckow et al. (2005), observaram que após 17 anos de cultivo em um Argissolo, sob sistema de PD e elevado aporte de material orgânico, a fração argila da camada de 0-2,5 cm mostrou indícios de saturação na capacidade de fixação de C orgânico.

A formação, tamanho e estabilidade dos agregados influenciam a proteção física da MOS. A decomposição rápida dos materiais orgânicos pelos microrganismos deposita núcleos de macroagregação formados por hifas de fungos, e materiais como exsudatos microbianos e radiculares, que se aderem às partículas sólidas, formando agregados maiores e mais estáveis. À medida que aumenta o tamanho dos agregados, há incremento do estoque de C que permanece encapsulado no interior destes (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Vários estudos demonstraram efeitos benéficos da utilização de DS na estabilidade dos agregados e nas demais propriedades físicas do solo, como: densidade, macroporosidade, taxas de infiltração de água, e condutividade hidráulica, aspectos fundamentais em solos tropicais altamente intemperizados e ácidos (SANTOS e CAMARGO, 1999; BAYER et al., 2003; MIKHA e RICE, 2004; HATI et al., 2007; DENARDIN e KOCHHANN, 2007). A matéria orgânica resultante da mineralização do material orgânico adicionado interage com minerais do solo, formando complexos organominerais que resultam na formação de partículas secundárias de diversos tamanhos e formas. O carbono orgânico aportado ao solo, oriundo da fitomassa da parte aérea e das raízes das plantas, de mucilagens e de exsudatos

radiculares e da biomassa microbiana do solo potencializa essa interação, formando e estabilizando agregados. A formação de agregados, por sua vez, restringe a ação dos microrganismos decompositores, contribuindo para o acúmulo de compostos orgânicos no solo, permitindo a fixação do carbono, principalmente em solos não mobilizados (DENARDIN e KOCHHANN, 2007; RESCK et al., 2008).

A MO exerce papel importante na formação e estabilização dos agregados do solo, pelas ligações de polímeros orgânicos com a superfície inorgânica por meio de cátions polivalentes. Porém em solos muito intemperizados, os óxidos são os principais agentes na estabilidade dos agregado, sobrepondo-se sobre os compostos orgânicos (TISDALL E OADES, 1982; SIX et al., 2002). Neste sentido, o efeito dos dejetos de animais sobre a estabilização dos agregados do solo pode variar com o tipo de solo e, muitas vezes, podem ser necessárias aplicações durante vários anos para que as diferenças sejam detectadas (WEIL e KROONTJE, 1979). O grau de degradação do solo, com conseqüente perda da MOS, também influencia na capacidade de aumentar a estabilidade dos agregados. Assim os efeitos da adição de materiais orgânicos são tanto maiores quanto maior for o grau de degradação deste solo. Castro Filho et al. (1998) constataram aumentos nos índices de agregação das partículas, com diminuição das classes de menor diâmetro e aumento das classes de diâmetro maior, com adição de resíduos vegetais na superfície de um Latossolo cultivado em sistema de plantio direto, demonstrando que mesmo neste solo podem ocorrer efeitos da adição de biomassa ao solo. Veiga et al. (2012) observaram que a aplicação de dejetos líquidos de suínos não alterou a maioria dos atributos físicos estudados, demonstrando o pequeno efeito da prática em áreas utilizadas com lavoura e pastagem em Argissolo e cambissolo.

A estabilidade pode ser determinada através dos índices diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) (KEMPER, 1965; KEMPER e CHEPIL, 1965). A presença de agregados grandes e estáveis pode refletir a resistência do solo à erosão. Quanto maior for a estabilidade, maiores serão o DMP e o DMG e os espaços porosos entre agregados, aumentando a infiltração e diminuindo a erosão.

Outros fatores importantes ressaltados por estudos mais recentes sobre a fixação de C no solo estão relacionados com a origem e qualidade do material orgânico adicionado ao solo e o manejo do solo, o que implica em tempo de residência de dado material no solo (SIX et al., 2002).

Para a caracterização e entendimento dos efeitos funcionais, a MOS é geralmente subdividida em frações ou compartimentos. Os fracionamentos podem ser categorizados como químicos, físicos e biológicos ou bioquímicos. Além disso, algumas características

morfológicas são utilizadas para distinguir o desenvolvimento de diferentes formas de húmus em ecossistemas terrestres (NIEDER e BENBI, 2008).

O fracionamento físico da MOS de acordo com o tamanho de partícula e densidade proporciona uma ferramenta útil para o estudo da sua dinâmica e funções no ecossistema agrícola. A separação da fração grosseira (particulada) possibilita separar a MOS conforme o tamanho de partículas, com o objetivo de distinguir diferentes compartimentos e tempos de ciclagem da MOS, e tem sido utilizada para modelagem para fins de cálculo da estabilização em termos de estoques de carbono orgânico do solo (BALESDENT et al., 1988, CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; BUYANOVSKY et al., 1994).

No processo de fracionamento físico são separados o carbono orgânico particulado (COP) e o carbono orgânico associado aos minerais (CAM) (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992). O COP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração de partículas maiores ($COP > 53\mu\text{m}$) e que alguns autores também chamam de fração leve quando esta é obtida através da separação densimétrica (CHRISTENSEN, 1992). O COP apresenta rápida transformação e por isso desempenha papel importante, em curto prazo, na ciclagem dos nutrientes do solo. Esta fração compreende resíduos vegetais menos transformados e está associada à produção primária da vegetação que cresce no solo através dos resíduos aéreos e subterrâneos, e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados. Supõem-se também, que possa ser derivado de materiais parcialmente fermentados, como esterco (GOLCHIN et al., 1994). Devido a estas características o COP é mais sensível às mudanças nas práticas de manejo em curto prazo de tempo, as mudanças na quantidade de COT são geralmente detectadas em prazo de tempo maior (HASSINK et al., 1997). Por outro lado, o CO associado às frações silte e argila do solo ($CAM < 53\mu\text{m}$), compreende a fração da MOS que interage com a superfície de partículas minerais que forma complexos organominerais mais estáveis, pelo mecanismo de proteção coloidal. (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992).

Sistemas de manejo que promovem diferentes aportes de biomassa vegetal e a aplicação de resíduos de animais podem ter efeitos distintos sobre a fração particulada da MOS, sendo esta possível de ser utilizada como ferramenta para avaliar a qualidade do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005). O limite de acumulação de C no solo depende da quantidade de resíduos produzida. A diferença está na estabilidade do C no solo, uma vez que a fração COP pode acumular indefinidamente ao mesmo tempo em que é muito susceptível a ação microbiana, sua quantidade no solo é muito sensível à variação de produção primária da

vegetação (ALVES et al., 2008). A fração leve, que corresponde também ao COP, é mais sensível às práticas de manejo, o que a torna uma importante fração na avaliação da qualidade do sistema de manejo no curto prazo (BAYER et al., 2001; CONCEIÇÃO et al., 2005).

Deve-se considerar também a influência da matéria orgânica sobre a estrutura do solo. Neste sentido, a maioria das pesquisas foi obtida em sistema de cultivo convencional, em regiões de clima temperado, com dejetos incorporados. Entretanto, resta esclarecer se há efeitos da aplicação de dejetos suínos na agregação, bem como, quanto ao modo e à dose de aplicação que devem ser adotadas em sistemas de plantio direto. O conhecimento dos seus efeitos, especialmente do comportamento da matéria orgânica em profundidade, da capacidade de estoque de C orgânico, sua relação com a agregação do solo, formas de proteção da MOS e possível saturação por MOS, são importantes a fim de adequar as doses a aplicar, visando maximizar o efeito fertilizante às culturas e diminuir o potencial poluente.

A conversão de ecossistemas naturais em sistemas agrícolas envolve uma série de mudanças sobre os componentes do solo e a sustentabilidade agrícola é influenciada pelo tipo de manejo empregado, que pode afetar as taxas de adição e decomposição da matéria orgânica do solo - MOS (LOSS et al., 2009). Em sistemas produtivos, o uso e o manejo do solo atuam modificando tanto a entrada como a saída de C do solo para a atmosfera, em função da produção diferenciada de resíduos, do número de cultivos, das espécies vegetais, da adubação, dos procedimentos de colheita, dos métodos de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

O PD ocupa aproximadamente 7 % das áreas cultivadas no mundo inteiro atingindo 95,5 milhões de ha (HUGGINS e REGANOLD, 2008) com um potencial de fixar $0,57 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, com base em uma revisão de 67 pesquisas de longo prazo (WEST e POST, 2002). O sistema PD protege melhor o COT e o novo C adicionado durante a decomposição microbiana, reduzindo as taxas de mineralização da MOS se comparado ao sistema de plantio convencional (PC) (BAYER et al., 2006). Portanto, PD é considerado sistema que conserva mais o C do solo que qualquer outro sistema de manejo.

Atualmente o sistema mais empregado no sul do Brasil é o plantio direto (PD), que reduz a mobilização do solo e, associado ao uso de plantas de cobertura de solo e a rotação de culturas tem balanço positivo de carbono em solos tropicais e subtropicais (MACHADO et al., 2004; AMADO et al., 2006). Os solos agrícolas podem atuar como dreno ou fonte de gases de efeito estufa, dependendo do sistema de manejo a que forem submetidos (IPCC, 2001). Os sistemas de manejo conservacionistas determinam alterações na ciclagem de C no

sistema solo-atmosfera, com aumento dos estoques de C orgânico no solo, resultante da diminuição nas taxas de decomposição da matéria orgânica (BAYER et al., 2000b).

O solo manejado em PD aumenta os estoques de C em comparação ao sistema de preparo convencional, o que indica que a eliminação do revolvimento do solo é uma prática importante na recuperação de solos degradados. Em geral, para que o solo atue como um dreno de CO₂ atmosférico são necessárias elevadas adições de C via resíduos vegetais, complementadas por mecanismos que estabilizem o C adicionado na forma de MOS (LOVATO et al., 2004).

O manejo conservacionista do solo e o uso adequado, de acordo com recomendação técnica, dos resíduos de animais, especialmente do dejetos suíno, no sentido de melhorar a produtividade agrícola e promover a manutenção da fertilidade química, física e biológica do solo, vem de encontro com a teoria atualmente muito debatida no meio científico e fora dele, de sustentabilidade dos sistemas de produção. A idéia de sustentabilidade tem como uma de suas premissas a adequação econômica, social e ambiental do padrão de desenvolvimento das sociedades atuais. Segundo Vieira e Weber (1997), existem evidências explícitas sobre os impactos ambientais das ações humanas, as quais abrem espaço para questionar as formas convencionais de desenvolvimento. A partir disso, têm surgido, aos poucos, noções de desenvolvimento sustentável, com uma preocupação de ordem mais pragmática, pela explicitação e avaliação crítica das pré-condições de viabilidade de enfoques realmente operacionais, para uma gestão integrada e preventiva dos problemas ambientais (VIEIRA e WEBER 1997).

Darolt (2000) caracteriza a propriedade agrícola a partir da abordagem sistêmica visando a sustentabilidade. Neste sentido afirma que “a unidade de produção agrícola, vista sob este enfoque, além de ser o espaço geográfico onde se realiza concretamente a combinação dos fatores de produção, terra, trabalho e capital, é onde se expressam os diferentes aspectos da realidade sociocultural, técnico-agronômica, econômica, ecológica e político-institucional da comunidade”, deixando clara a valorização dos aspectos humanístico-sociais inerentes a essa nova abordagem.

O relatório da conferência da FAO sobre Agricultura e Meio Ambiente, realizada na Holanda em 1991, definiu agricultura sustentável como “sendo o manejo e a conservação dos recursos naturais e a orientação de mudanças tecnológicas e institucionais, de maneira a assegurar a satisfação das necessidades humanas, de forma continuada para as gerações presentes e futuras. Tal desenvolvimento sustentável conserva o solo, a água e os recursos genéticos animais e vegetais; não degrada o meio ambiente e é tecnicamente apropriado,

economicamente viável e socialmente aceitável”. O relatório estabeleceu para a agricultura e o desenvolvimento rural sustentáveis três metas básicas: a) segurança alimentar, através de um equilíbrio apropriado entre auto-suficiência e independência, b) geração de emprego e renda nas áreas rurais, especialmente para erradicar a pobreza e, c) conservação de recursos naturais e proteção ambiental.

Para Altieri (1989) a produção de animais na agricultura sustentável tem papel importante, estes agregam valor aos produtos comercializados e produzem adubo orgânico, importante para recuperação e manutenção da fertilidade do solo. Além de produzir carne, leite, ovos, mel, e muitos outros, a produção ainda tem como funções: controle da vegetação e de pragas, força de trabalho e fertilização do solo (MOLLISON e SLAY, 1998). Essa multiplicidade de funções torna a produção animal uma atividade fundamental para o sistema sustentável de produção de alimentos. Na suinocultura há uma demanda técnica crescente na área de novos conceitos em edificações e nutrição para atender às necessidades da produção familiar, da sustentabilidade ambiental e dos conceitos de sistema de produção “agroecológicos” (OLIVEIRA, 2001).

Na visão social do papel do solo como produtor de alimentos, o conceito de qualidade do solo se harmoniza com o conceito de sociedade sustentável proposta por Capra (1996): “Uma sociedade sustentável é aquela que satisfaz suas necessidades sem diminuir as perspectivas das gerações futuras”. Este conceito é compatível com Doran e Parkin (1994): “qualidade do solo é a capacidade que este possui em manter a produtividade biológica, a qualidade ambiental e a vida animal e vegetal saudável na terra”.

Muitos trabalhos relataram a eficiência do DS no aumento da produtividade de matéria seca das culturas e da MOS (KONZEN, 2004; CERETTA et al., 2005; BANGER et al., 2010). Assim a aplicação de DS, baseado em recomendação técnica pode promover a qualidade produtiva do solo e ao mesmo tempo contribuir na solução dos problemas da concentração dos dejetos de suínos nas regiões de produção intensiva como é o caso da região oeste e extremo oeste de Santa Catarina.

3 HIPÓTESES

A utilização continuada de DS, em lavouras cultivadas com milho sob PD, aumenta o teor e o estoque de C orgânico total no solo principalmente nas camadas superficiais e de forma mais evidente na fração particulada.

A utilização continuada de DS em LV sob cultivo de milho em PD, aumenta a estabilidade de agregados e favorece a estabilização do carbono orgânico em agregados de maior dimensão.

A taxa de acúmulo de carbono orgânico ao longo do tempo em um LV tratado com DS em relação a adubação solúvel é dependente da dose anual aplicada desse resíduo.

4 OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o uso anual de DS em várias doses, comparativamente à adubação com adubo solúvel (AS) e da combinação DS+AS, no conteúdo de CO em LV cultivado com milho sob plantio direto em diversos compartimentos e agregados.

4.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Avaliar os teores e estoques de C orgânico total em diferentes camadas em LV cultivado com milho sob sistema plantio direto e submetido a aplicações anuais de doses de dejetos suíno, adubação solúvel e combinada, e a distribuição do C orgânico nas frações particulada, associada aos minerais e em classes de agregados.
2. Avaliar a influência do DS em várias doses na taxa de fixação do C orgânico ao longo do tempo em relação a adubação com adubo solúvel, estimar a possibilidade de saturação por C orgânico neste solo ao longo do tempo.

5 CAPÍTULO I. TEORES TOTAIS E ESTOQUES DE CARBONO ORGÂNICO NO SOLO, NAS FRAÇÕES FÍSICAS E EM CLASSES DE AGREGADOS EM LV SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE DEJETO SUINO

RESUMO

A suinocultura brasileira evoluiu sensivelmente nas últimas décadas, como comprovam os altos índices de produtividade alcançados. No entanto, essa atividade é geradora de dejetos que causam ônus ambiental pela poluição dos recursos naturais, como o solo e a água. Por outro lado, o uso desse resíduo como fonte de nutrientes às plantas melhora atributos químicos, físicos e biológicos relacionados à qualidade do solo, e aumenta os estoques de MOS. Porém, efeitos do dejetos suíno (DS) aplicado em sistema de plantio direto (PD) ainda não são suficientemente conhecidos, restando dúvidas quanto à capacidade dos solos de armazenar C derivado do DS, assim como no dimensionamento das doses, a fim de obter benefícios tanto na produtividade com na melhora das características do solo e do meio ambiente. O objetivo desse trabalho foi avaliar os teores e estoques de C orgânico em diferentes camadas em Latossolo Vermelho cultivado com milho sob sistema plantio direto e submetido a aplicações anuais de doses de DS, adubação solúvel e combinada, e a distribuição do C orgânico nas frações particulada, associada aos minerais e em classes de agregados. O experimento iniciou em 2001, no município de Campos Novos-SC, em um Latossolo Vermelho e compreendeu os seguintes tratamentos: adubo solúvel (AS); adubo solúvel combinado ao dejetos suíno na dose de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS+AS); e dejetos suíno nas doses zero (sem adubação, DS0); 25 (DS25); 50 (DS50); 100 (DS100); e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS200). A análise de COT foi realizada em amostras coletadas nos anos de 2006, 2010 e 2012 e as análises de COP, CAM e teor de COT em classes de agregados, no ano de 2010. O teor de COT no solo aumentou em função da dose de DS aplicada, porém somente nas camadas até 10 cm de profundidade, valores máximos foram obtidos com as doses de 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS resultou em teores e estoques de COT semelhantes aos observados na dose $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS complementada com adubos solúveis e no tratamento com adubo solúvel isolado. Os teores e estoques de CO nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM) foram maiores nas camadas superficiais até 5 cm, com maior amplitude nos teores da primeira fração em relação à segunda. A estabilidade dos agregados, medida pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) não foi influenciada pelo aumento na dose de DS. O teor de C nos agregados maiores que 2 mm aumentou até a dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS.

Palavras-chave: fixação de carbono. agregação. esterco. plantio direto.

5.1 INTRODUÇÃO

A fixação do C no solo tem sido valorizada como alternativa para compensar a crescente emissão de dióxido de carbono (CO₂) que é um dos gases causadores do efeito estufa no planeta. Neste processo, onde o C é armazenado na matéria orgânica do solo (MOS). Essa forma de fixação é a opção mais viável de curto prazo entre as possibilidades de mitigação das emissões de gases na agricultura (IPCC, 2007; REED e RICE, 2007)..

As principais estratégias para aumentar o carbono orgânico do solo (COS) são a redução da intensidade de preparo do solo como, por exemplo, no sistema em plantio direto (PD) e aumento da entrada de C através da biomassa vegetal ou outros resíduos orgânicos. O sistema de PD ocupa cerca de 7% da área mundial de "terras cultivadas", atingindo 95,5 milhões de hectares (HUGGINS e REGANOLD, 2008) e tem potencial estimado para fixar $0,57 \pm 0,14 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de C. O sistema em PD protege de forma mais eficiente o COS e o C adicionado a partir da decomposição microbiana, reduzindo as taxas de mineralização do COS se for comparado ao preparo convencional (BAYER et al., 2003). Portanto, PD é considerado mais conservador de carbono do que os sistemas convencionais de preparo do solo.

A aplicação de resíduos de animais, como o DS, em sistema de PD, aumenta a possibilidade de aumentar a MOS. Diversos estudos mostraram que a fertilização com esterco sozinho ou combinado é mais eficiente para aumentar os teores de COT do que o fertilizante mineral com quantidades de nutrientes equivalentes (YANG et al., 2005; BLAIR et al., 1995; CORRÊA et al., 2011).

O uso de DS como alternativa para aumentar os teores de MOS e a capacidade produtiva do solo através dos benefícios indiretos da MO são valorizados pelos produtores, juntamente com manejo do solo em sistema de plantio direto (PD) (BAYER et al., 2000a; SISTI et al., 2004). Esta forma de administrar a questão, destina os resíduos dos suínos no solo e aumenta os teores de MO do solo, além dos benefícios indiretos mudou o modo como os produtores de animais manejam o resíduo (RISSE et al., 2001), que passou a ser considerado como fertilizante. Porém, a grande abundância de dejetos tem acentuado o potencial poluidor no ambiente, pela aplicação em quantidades elevadas em solos com capacidade de suporte a doses desse resíduo desconhecida (PANDOLFO e CERETTA, 2008; RISSE et al., 2001).

Em sistemas conservacionistas, como o PD, com ou sem aportes de dejetos, a maior parte da acumulação de COS é observado na superfície (0-5 cm) e distribuído em um

gradiente decrescente para as camadas sub-superficiais do solo (SÁ et al., 2001; BAYER et al., 2001). A aplicação de dejetos de animais, por aumentar a produção de biomassa, pode contribuir de forma significativa no incremento da CO. Rasmussen e Collins (1991) concluíram que o aumento nos estoques de C em relação à adição de diferentes resíduos de culturas e dejetos de animais durante 40 anos ocorreu pelo efeito da maior produção de biomassa vegetal.

Entretanto, o conhecimento dos efeitos da aplicação superficial do DS no solo, especialmente das doses elevadas é incompleto, demandando principalmente experimentações de longo prazo. O conhecimento dos efeitos da aplicação DS no solo, especialmente do comportamento da matéria orgânica em profundidade, sua relação com a agregação do solo e formas de proteção da MOS são importantes para adequar as doses a aplicar visando, aproveitar melhor o efeito fertilizante às culturas, melhorar a qualidade do solo e dos alimentos, melhorar (e recuperar) a qualidade do solo pelo incremento em carbono, e diminuir o potencial poluente desses resíduos.

O estoque de carbono total medido no solo podem não refletir adequadamente as mudanças na qualidade e no estado nutricional, como resultado de práticas de manejo conservacionistas e aplicação de materiais orgânicos ao solo. Entretanto, o fracionamento granulométrico da MOS pode ser uma forma eficiente de avaliar essas alterações, com separação das formas carbono orgânico particulado (COP) e carbono orgânico associado aos minerais (CAM)(CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; NICOLOSO, 2005; BAYER et al., 2004).

O COP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo retido na fração areia, equivalente à partículas com diâmetro maior que 53 μ m, sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas em estágios iniciais de degradação, que ainda mantém estruturas celulares reconhecíveis. Em geral, essa fração tem maior taxa de ciclagem, e menor tempo de residência no solo, de semanas a meses, sendo sua permanência no solo condicionada à natureza dos materiais orgânicos e à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994).

O CAM é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo que possuem diâmetro menor que 53 μ m. O CAM corresponde a fração mais pesada (análise densimétrica), que representa a MOS em estágio avançado de decomposição, sendo mais estável, e com maior tempo de residência no solo, do que a fração leve (CHRISTENSEN, 2001). Essa fração compreende estruturas moleculares que interagem com a superfície de partículas minerais, formando complexos organominerais, o que resulta em maior proteção coloidal. O estoque de

CAM é altamente dependente da textura e mineralogia do solo, enquanto o estoque de COP representa a fração da matéria orgânica do solo, que foi adicionada mais recentemente, e que ainda não passou pelo processo de transformação em compostos mais estáveis, como humina e ácidos húmicos. Se comparado à fração COP, o C associado aos minerais é mais recalcitrante e possui tempo de residência no solo maior (PAUL et al., 2001). Assim, o fracionamento granulométrico da MOS pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do uso, devido à diversa sensibilidade dessas frações frente ao manejo do solo (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; BAYER et al., 2004).

O fracionamento físico também possibilita o cálculo de índices, que segundo Blair et al. (1995) expressam as alterações causadas pelo manejo, em comparação com uma situação ideal, ou seja, um sistema de floresta, ou pastagem natural. Nesse sentido, o índice de manejo de carbono (IMC), proposto por Blair et al. (1995), é composto pelo índice de compartimento (ou estoque) de carbono (ICC ou IEC) e pelo índice de labilidade (IL). O IMC compreende o caráter qualitativo (labilidade) e quantitativo (estoque) da matéria orgânica do solo. Quanto maior o IMC, em relação ao IMC de referência, maior a qualidade do solo e significa que as práticas agrícolas adotadas nestes sistemas estão favorecendo a sua conservação. O solo referencial pode ser superado pelos tratamentos, como observado por Salton (2005) avaliando LV, em Dourados/MS, que verificou IMC superior ao cerrado nativo, quando foram utilizados sistemas integrados de produção.

O objetivo deste trabalho foi avaliar teores e estoques de carbono orgânico total no solo, bem como nas frações carbono orgânico particulado (COP) e associado aos minerais (CAM), e também o teor de carbono em classes de agregados, em LV, conduzido sob sistema plantio direto e submetido a sucessivas aplicações de DS, adubação solúvel e combinados.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Descrição do local

O estudo foi realizado em experimento a campo, implantado em propriedade rural com granja de suínos, afiliada à Cooperativa Regional de Campos Novos (Cooper campos), localizada no município de Campos Novos, SC, com altitude média de 863 m e as seguintes coordenadas geográficas do ponto central da área do experimento: W 51° 21' 47'' e S 27° 23' 34,5''. O experimento foi instalado em outubro de 2001, para estudo dos efeitos da adição

continuada (de longo prazo) de dejetos suíno em diversas doses no rendimento das culturas, nas características químicas, físicas e biológicas e na qualidade do solo, cultivando-se principalmente milho (*Zea mays L.*) no verão e aveia preta (*Avena strigosa L.*) no inverno. Antes da implantação do experimento a área era utilizada para cultivo de plantas de lavoura (milho, soja, feijão, trigo e aveia) e manejada em sistema de semeadura direta. Na safra de 2000/2001, no ano anterior ao início do experimento, o agricultor realizou adubação com dejetos suíno em toda área, com dose em torno de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

5.2.2 Clima e solo

O local apresenta clima mesotérmico úmido com verão ameno (Cfb), segundo a classificação de Köppen, com chuvas bem distribuídas durante o ano. As médias anuais de precipitação e temperatura são de 1480 mm e 16 °C, respectivamente (SANTA CATARINA, 2011). O solo é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico, tendo como material de origem o basalto (EMBRAPA, 2006). Os teores de óxidos de ferro (hematita mais goethita), extraído com ditionito-citrato-bicarbonato (F_{ed}) situam-se em torno de 120 g kg^{-1} na camada estudada (0 a 40 cm), o que caracteriza um solo oxidado (ALMEIDA et al., 2003) (Tabela 1). A relação entre os teores de ferro extraídos com oxalato (F_{eo}) e com ditionito-citrato-bicarbonato (F_{ed}) foi inferior a 0,05 e indica predomínio de formas cristalinas dos óxidos de ferro (goethita e, ou, hematita). Na fração argila, predomina a caulinita, seguida de argilominerais do tipo 2:1 com polímeros de hidróxi-Al entre-camadas, goethita e hematita. Em proporções menores, ocorrem gibbsita e quartzo (Tabela 1).

Tabela 1. Características da mineralogia do solo da região de Campos Novos onde se situa a área experimental.

Perfil	Localização/ altitude	Horizonte/ profundidade	CorMunsell	Fe H ₂ SO ₄	Fe _d	Fe _o / Fe _d	Argila	MO	pH _{H2O}	Soma de bases	CTC pH 7	V
		cm		— g kg ⁻¹ —			— g kg ⁻¹ —			cmol.kg ⁻¹		%
LB/Vf	Campos	A1 (-18)	5,0YR 3/3	134	120	0,03	640	52	4,6	2,4	20,4	12
	Novos	A2 (-45)	5,0YR 3/3	133			830	38	4,5	1,2	19,5	6
	SC	AB (-77)	5,0YR 3/4	135	139	0,02	850	24	4,6	0,7	17,4	4
	948 m	BA (-96)	4,0YR 3/4	136	138	0,01	880	22	4,7	0,6	14,7	4
		Bw1 (-140)	3,4 YR 3/4	119	141	0,02	830	12	5	0,4	7,9	5
		Bw2 (-220)	3,0YR 3/6	126	149	0,02	810	7	5,1	0,3	7,1	5
		Bw3 (-350)	2,5YR 3/6	139	156	0,02	810	6	5,1	0,3	7,3	4

Fonte: Almeida et al. (2003)

A textura do solo avaliada na implantação do experimento evidencia a predominância de argila, situando-se entre 664 e 701 g kg⁻¹ nas camadas avaliadas (Tabela 2). As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 2. Composição granulométrica nas camadas de 0-5, 0-10 e 10-20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico utilizado para implantação do experimento a campo. Campos Novos/SC, 2001.

Profundidade cm	Argila	Areia	Silte
	----- g kg ⁻¹ -----		
0 a 5	664	53	283
5 a 10	660	42	298
10 a 20	701	48	251

Fonte: Mafra et al., 2008

Tabela 3. Atributos da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Vermelho Distroférico utilizado para implantação do experimento a campo. Médias de quatro amostras compostas de 10 sub-amostras. Campos Novos/SC, 2001.

pH	SMP	V	Al	Ca	Mg	P	K	Argila	COT
		%	-----cmol _c kg ⁻¹ -----			---mg kg ⁻¹ ---		-----g kg ⁻¹ -----	
6,1	6,0	87	0,0	8,2	4,6	6,4	97	680	25

Fonte: Cassol., 2001

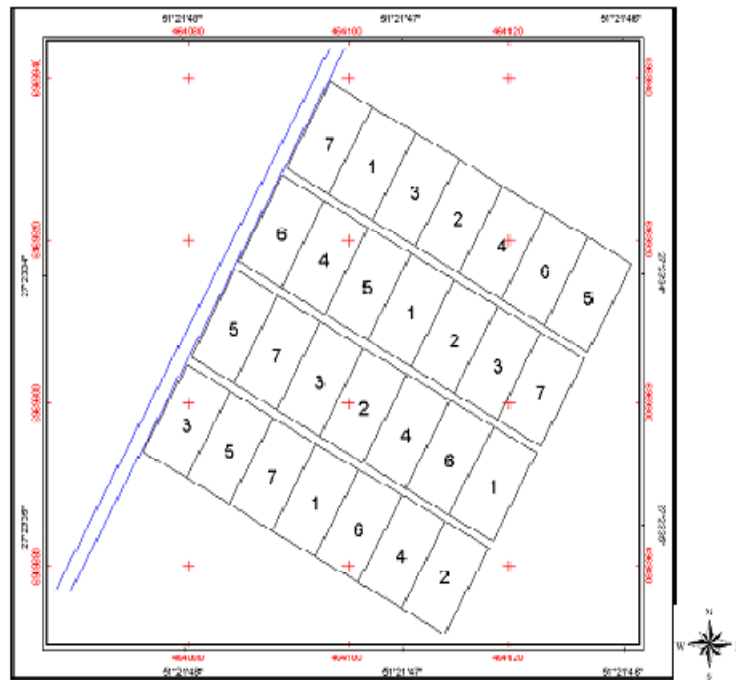
Legenda - pH: pH em água; SMP – pH pelo índice SMP; Al: alumínio trocável; Ca: cálcio trocável; Mg: magnésio trocável; P: fósforo extraível; K: potássio trocável; COT: carbono orgânico total. (1) determinado segundo Tedesco et al.(1995). (2) extrator Mehlich1. (3) extrator KCl 1 M.

5.2.3 Tratamentos aplicados e delineamento experimental

O experimento foi composto pelos seguintes tratamentos: DS0 (sem adubação), dejetos suíno (DS) nas doses anuais de 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, adubação solúvel (AS) e adubação com 25 m³ ha⁻¹ de DS complementado com AS (DS+AS) (Figura 1). O tratamento DS0 foi conduzido da mesma forma como os demais tratamentos com a diferença de que não recebeu adubos, orgânico ou solúvel. O tratamento AS foi composto por uréia, superfosfato triplo e cloreto de potássio em doses anuais de N, P₂O₅ e K₂O de 130, 100 e 70 kg ha⁻¹, respectivamente, no período de 2001 a 2006 e de 170, 130 e 80 kg ha⁻¹, respectivamente, no período de 2007 a 2012. Esses valores foram definidos com base em recomendações visando rendimento de grãos de milho de 8 Mg ha⁻¹ no primeiro período, e de 11 Mg ha⁻¹ conforme manual da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS, 2004). O tratamento DS+AS incluiu, além do DS, aplicações dos mesmos adubos solúveis citados acima, em doses de N, P₂O₅ e K₂O ajustadas anualmente de modo que as quantidades totais dos três nutrientes fossem semelhantes às fornecidas no tratamento AS. No tratamento AS, o N foi parcelado: de 20% na base e o restante em uma cobertura, realizada no estágio V5. No tratamento DS+AS, o N da fonte solúvel foi totalmente aplicado em uma cobertura no mesmo estágio acima.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos casualizados, com quatro repetições em parcelas experimentais com 75,6 m² (12 m x 6,3 m) de área total e 50 m² (10,2 m x 4,9 m) de área útil (Figura 1).

Figura 1. Croqui da área experimental com a distribuição espacial dos tratamentos. Os números 1; 2; 3; 4; 5; 6 e 7; correspondem aos tratamentos DS0 (sem adubação), adubação solúvel; adubação solúvel combinada com 25 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; e as doses 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos suíno, respectivamente.



Fonte: Cassol, 2001.

5.2.4 Composição química do dejetos de suíno.

O dejetos foi derivado de suínos em crescimento, armazenado em esterqueira aberta por cerca de quatro meses anteriores à aplicação. Foi realizada a caracterização do dejetos líquido de suíno aplicado no experimento retirando-se uma amostra representativa, que foi fracionada em duas repetições. A determinação da matéria seca realizada mediante secagem em estufa com circulação de ar a 65° C. A determinação de pH foi feita mediante leitura diretamente no DS, e as análises dos nutrientes foram feitas após a secagem em estufa a 60° C e moagem. A caracterização do DS utilizado nas diversas aplicações foi realizada conforme descrito por Tedesco et al. (1995) e está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Características químicas do dejetos suíno aplicado anualmente em experimento a campo no período de 2001 a 2011 em um Latossolo Vermelho Distroférrico.

Aplicação ano	pH	MS	NT	COT
			-----kg m ⁻³ -----	
10/2001	6,7	66	3,4	19,2
11/2002	7,1	26	2,6	11,2
10/2003	6,9	32	2,6	12,8
10/2004	7,3	43	3,7	16,6
10/2005	7,8	56	3,2	17,4
10/2006	7,0	114	4,6	35,6
10/2007	7,3	55	2,7	19,7
10/2008	7,1	68	2,4	23,9
10/2009	7,2	69	6,6	25,6
10/2010	7,4	57	3,9	33,4
10/2011	7,2	61	3,5	27,5
Total	--	--	--	242,9
Média	7,2	59	3,6	22,1

Fonte: Produção do próprio autor

MS: matéria seca; NT: nitrogênio total; COT: carbono orgânico total

5.2.5 Amostragem do solo

Quadro 1. Tipo de análise, época, camadas e método de coleta do solo realizada.

Ano	Tipo de análise	Época	Camadas (cm)	Método
2006	Análise de C	Outubro – antes da semeadura do milho	0-2, 4-6 e 9-11	7 sub-amostras por parcela. Trado calador
2010	Análise de C	Outubro – antes da semeadura do milho	0-2,5, 2,5-5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40	7 sub-amostras por parcela. Até 20 cm com trado fatiador e de 20 a 40 cm com trado holandês
2011	Análise de agregados	Maio	0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20	1 amostra por parcela, com ajuda de uma pá de corte
2012	Análise de C	Maio – antes da semeadura da aveia	0-2,5, 2,5-5, 5-10 e 10-20	4 sub-amostras com trado holandês e uma com pá reta, utilizando a fatia mediana.
2012	Análise da densidade	Maio – antes da semeadura da aveia	0-5 e 5-10	Anéis de Kopecky
2012	Análise de C no solo da mata nativa	Outubro	0-2,5, 5-10, 10-20, 20-30 e 30-40	Até 20 cm com trado fatiador e de 20 a 40 cm com trado holandês. Quatro repetições e em Anéis de Kopecky.

Fonte: Produção do próprio autor

As amostras de 2006 estavam estocadas em potes de plástico com tampa tipo rosca e foram aproveitadas a fim de obter dados comparativos com os de 2010 (Quadro 1). As amostras foram analisadas em 2012 quanto ao teor de COT, conforme descrito por Tedesco et al. (1995).. As amostras haviam sido coletadas em metodologia diferente das realizadas nos anos de 2010 e 2012. A amostragem foi realizada em três camadas do solo, abrangendo as seguintes camadas: 0 a 2 cm (camada 1), 4 a 6 cm (camada 5) e 9 a 11 cm (camada 10) de profundidade. As amostras foram compostas de 7 sub-amostras, coletadas em pontos aleatórios na parcela, com trado tipo calador. Para comparar os dados dessa amostragem com as realizadas nos anos de 2010 e 2012, em face às diferenças de camadas amostradas, foi realizado o cálculo de interpolação dos valores com base na equação de regressão ajustada para os valores em função das camadas do solo em cada tratamento.

A amostragem do solo no ano de 2010 foi realizada coletando-se 7 sub-amostras nas seguintes camadas: 0 a 2,5; 2,5 a 5,0, 5,0 a 10, 10 a 20, 20 a 30 e 30 a 40 cm, sendo que para cada camada, as sub-amostras foram homogeneizadas obtendo-se uma amostra composta (Quadro 1). A amostragem foi realizada com trados tipo calador até 20 cm e tipo holandês de 20 a 40 cm. No dia seguinte à coleta, o solo foi colocado para secar em estufa com circulação de ar a 65° C e posteriormente, foi moído para atingir diâmetro de partículas inferior a 2,0 mm, e armazenado em potes de plástico com tampa de rosca e identificados.

Nas amostras de 2010 foi realizada a análise de COT em todas as camadas e a análise de fracionamento físico do CO nas quatro primeiras camadas (Quadro 1). O COT foi analisado conforme descrito por Tedesco et al. (1995) e o carbono orgânico particulado (COP) foi determinado a partir da mistura de 20 g de solo e 60 mL de hexa-metafosfato de sódio (5g L⁻¹), agitando-se por 16 horas e passando a suspensão em peneira de 53µm (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992). Após a separação das frações, as amostras foram secas a 60°C, moídas em gral de porcelana e em seguida foi feita determinação de carbono na fração particulada conforme descrito por Tedesco et al. (1995). O carbono orgânico associado aos minerais (CAM) foi estimado pela diferença entre o COT e o COP.

Em maio de 2011 foram realizadas amostragens para a análise de agregados. O solo foi coletado de forma a conservar os torrões íntegros (Quadro 1). No laboratório, o solo no ponto de friabilidade foi destorroado e tamisado entre 8,0 e 4,75 mm para realização da estabilidade dos agregados, conforme método descrito por Kemper e Chepil (1965). Foram pesadas duas sub amostras de 25 g, uma delas foi levada à estufa a 105°C para correção da umidade. A outra amostra foi submetida à análise no aparelho de oscilação vertical em água,

com o conjunto de peneiras de tamanho: 4,76; 2,0; 1,0 e 0,25mm. Com o material retido nas diferentes peneiras foram calculados o DMP e o DMG. O carbono contido no interior dos agregados (C-agregados) foi analisado após a avaliação da estabilidade de agregados no solo retido nas peneiras, separando-se as três classes a seguir: retidos nas peneiras entre 8,0 e 4,75 mm (classe 1), entre 4,75 e 2 mm (classe 2) e inferior a 2,0 mm (classe 3), sendo secos a 60 °C para quantificação do teor de carbono orgânico. As determinações de carbono orgânico (COT, COP, C-agregados) foram realizadas de acordo com a metodologia de Tedesco et al. (1995), por combustão úmida, com oxidação por dicromato de potássio e determinação por titulometria com sulfato ferroso.

Em maio de 2012 foram realizadas amostragens para as determinações da densidade do solo e do teor de COT. Para densidade, as amostras foram coletadas em anéis de Kopecky, com 68 cm³ de volume, nas camadas de 0 a 5 e 5 a 10 cm de profundidade (Quadro 1). Os resultados da densidade do solo foram comparados com os resultados nos anos de 2006 e 2010. A amostragem de solo para análise de COT foram coletadas 4 sub-amostras nas camadas 0 a 2,5; 2,5 a 5,0, 5,0 a 10 e 10 a 20 cm com trado holandês, e com uma pá reta foi retirado um terço médio de uma fatia de solo em cada parcela, aproveitando-se a trincheira onde foram coletadas as amostras indeformadas para análise de densidade, para cada camada, as sub-amostras foram bem homogeneizadas obtendo-se uma amostra composta.

As análises de COT nas amostragens dos anos de 2006 e 2012 foram realizadas para obter parâmetros de comparação nas variações das taxas de incremento de COT no solo no tempo. Ressalta-se que as amostras de 2010 foram as mais importantes neste estudo, por representarem 9 anos de experimentação com aplicação de doses de DS.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando delineamento de blocos ao acaso, com avaliação do efeito dos tratamentos e comparação de médias pelo teste Tukey (P<0,05) e análise de regressão para efeito de dose de dejetos no teor de CO do solo.

5.2.6 Estoques de carbono no solo e nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM).

Os estoques de COT (Mg ha⁻¹) foram calculados levando-se em consideração os teores de COT e densidade do solo nas quatro camadas de 0 a 20 cm de profundidade, considerou-se camadas equivalentes. Os estoques de COP foram calculados com a massa particulada retida na peneira de malha 53 µm utilizada para determinar o teor de COP. O estoque de carbono

orgânico associado aos minerais (CAM), foi calculado pela diferença entre os estoques de COT (Mg ha^{-1}) e COP (Mg ha^{-1}).

Para densidade, as amostras foram coletados em anéis de Kopeccky, com 68 cm^3 de volume, nas camadas de 0 a 5, 5 a 10 e 10 a 20 cm. Os resultados da densidade do solo da amostragem de 2012 foram comparados com os resultados das amostragens realizadas nos anos de 2006 e 2010.

Os estoques de C foram calculados e expressos pela equação de Veldkamp (1994):

$$\text{EstC} = (\text{CO} \times \text{Ds} \times e)/10$$

Onde:

Est C = estoque de C orgânico em determinada camada do solo (Mg ha^{-1})

CO = teor de C orgânico total na camada amostrada (g kg^{-1})

Ds = densidade do solo da camada (kg dm^{-3})

e = espessura da camada considerada (cm)

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Teores e estoques de COT em camadas até 40 cm de profundidade

A Tabela 5 ilustra os teores de COT até a profundidade de 40 cm em 2010, nono ano após a instalação do experimento. Os resultados mostraram que o maior teor de C se concentrou na superfície do solo, nas camadas até 5 cm. A principal explicação para isto é relatada em diversos trabalhos e atribuída principalmente à permanência dos resíduos culturais na superfície do solo no sistema plantio direto, sendo esse efeito relacionado com o menor contato entre a palha do milho, que tem relação C/N alta, e o solo. O sistema de manejo em PD, devido a ausência de incorporação vertical de resíduos culturais através do revolvimento do solo, concentra grande parte da matéria orgânica nas camadas superficiais até 5 cm (FRANZLUEBBERS et al., 1994; DIECKOW et al., 2005), em profundidade, são as raízes, que se distribuem no perfil, que contribuem no aumento de C no solo. (BAYER et al., 2003; CASTRO FILHO et al., 1998; BASSO e CERETTA, 2000; CERETTA et al., 2002; LOVATO et al., 2004; NICOLOSO, 2009).

Nas duas camadas superficiais, 0-2,5 e 2,5-5 cm, observou-se efeito significativo dos tratamentos. Na camada 0-2,5 observou-se diferença de 18 g kg^{-1} nos teores extremos (DS0 x DS200), equivalente a 53 % a mais no DS200, em massa representa 4 Mg C ha^{-1} . Os tratamentos DS50, seguido do DS100 e DS200, com 15, 14 e 14 Mg ha^{-1} , respectivamente, apresentaram maior estoque de C no solo, com cerca de 2 Mg ha^{-1} a mais que os tratamentos AS e DS+AS com 12 Mg C ha^{-1} .

Na camada de 2,5-5 cm a maior diferença foi de 15 g kg^{-1} , equivalente a 52 % a mais no DS200 em relação ao DS0. Somadas as duas camadas (0-5cm), a diferença resultou em 9 Mg ha^{-1} na massa de C. Na camada 5-10 cm ainda houve efeito dos tratamentos, porém as diferenças foram menores, os tratamentos com doses maiores 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ apresentaram 2 e 3 Mg C ha^{-1} a mais, respectivamente, que o tratamento com adubo solúvel (AS). Não foi observada diferença estatística nas camadas de 10-20 e 20-30 cm, apesar das diferenças entre os estoques terem sido de 5 Mg ha^{-1} na camada de 10-20 cm nos tratamentos DS50 e DS+AS e na camada de 20 a 30 entre os tratamentos DS25 e DS+AS (Tabela 5). Na camada 30-40 cm o tratamento DS25 diferiu do DS50 nos estoques de C em 6 Mg ha^{-1} , os maiores estoques foram observados nos tratamentos com as três maiores doses de dejetos (DS50, DS100 e DS200) mostrando comportamento semelhante ao da camada superficial.

Tabela 5. Teores de carbono orgânico total (g kg^{-1}) e estoque de COT (Mg ha^{-1}) no solo nas camadas de 0-2,5; 2,5-5; 5-10; 10-20; 20-30 e 30-40 cm, no ano de 2010 de um Latossolo Vermelho Distroférrico, submetido a tratamentos com doses crescentes de dejetos suíno, adubo solúvel e combinados, conduzidos em sistema de plantio direto. Média de quatro repetições.

Tratamentos	Profundidade (cm)						Média 0-40
	0-2,5	2,5-5	5-10	10-20 ^{ns}	20-30 ^{ns}	30-40 ^{ns}	
	Teor de C (g kg^{-1})						
AS	39 Acd	34 Abc	27 Bab	23 BC	23 BC	19 C	24 b
DS+AS	43 Abc	38 Bb	28 Cab	25 C	23 C	18 D	25 a
DS0	34 Ad	29 Bc	25 Cb	23 C	22 C	18 C	23 c
DS25	41 Abcd	34 Bbc	26 Cab	22 CD	20 DE	17 E	23 c
DS50	46 Aab	38 Bb	27 Cab	22 CD	16 D	21 CD	23 bc
DS100	47 Aab	39 Bb	31 Ca	23 D	22 D	20 D	25 a
DS200	52 Aa	44 Ba	29 Ca	23 D	21 D	19 D	25 a
CV	6,9	6,1	6,7	6,7	10,4	6,3	7,3
	Estoque de C (Mg ha^{-1})						
	0-2,5	2,5-5	5-10	10-20 ^{ns}	20-30 ^{ns}	30-40	Soma 0-40
AS	12 ab	11 bc	19 b	33	33	27 abc	135 b
DS+AS	12 ab	12 abc	20 ab	36	34	27 bc	141 a
DS0	10 b	9 c	18 c	33	30	26 bc	126 c
DS25	13 ab	11 bc	19 b	33	29	25 c	129 bc
DS50	15 a	12 ab	19 b	31	31	31 a	139 ab
DS100	14 a	12 abc	22 a	33	32	29 ab	142 a
DS200	14 a	14 a	21 ab	33	30	28 abc	140 a
CV	9,1	10	6,7	6,3	9,8	6,3	6,1

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O efeito dos tratamentos observado na camada de 30-40 cm, possivelmente se deve à adição de C através das raízes das culturas. Molina et al. (2001) sugeriram que as raízes de milho contribuem 1,8 vezes mais nos estoques de C, do que a biomassa aérea correspondente. Entretanto, Campbell et al. (1991), reportaram que a restituição da palha de trigo (*Triticum aestivum*) para o solo durante 30 anos não influenciou no teor de CO desse solo. Outros resultados, extraídos de um experimento de milho durante 30 anos, também indicaram que a restituição de caules dessa cultura comparada à sua remoção também não teve impacto sobre o conteúdo do COT (REICOSKY et al., 2002). Em estudos com contribuição significativa da biomassa aérea da cultura para o COT do solo (BARBER, 1979; HOOKER et al., 1982), constatou-se que essa contribuição foi comparativamente menor do que a de raízes (BARBER, 1979). De acordo com estas observações, dependendo do tipo de culturas, se faz

necessário analisar as variações em profundidade, mesmo em sistemas de plantio direto, principalmente quando se trata de sistemas radiculares mais desenvolvidos e profundos. A utilização de DS em doses maiores que $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ aumentou a produção de biomassa do milho e a partir da dose DS25 aumentou a produção da biomassa de aveia, conforme dados apresentados no APÊNDICE A, em relação ao tratamento AS. O aumento da fitomassa também favorece maior fixação de C no solo, por outro lado, a aplicação de DS sobre a biomassa da aveia dessecada e da biomassa dos resíduos da cultura de milho anterior possivelmente resultaram em aumento na taxa de decomposição da palha, o que pode ser uma explicação para os estoques de C menores nos tratamentos DS100 e DS200 em relação ao DS50. Este efeito foi observado por Saviozzi et al. (1997) e Chantigny et al. (2001) que relataram aumento de 23% na emissão de CO_2 , após 230 dias, quando DS e palha de trigo foram incubados conjuntamente a 25°C . Por outro lado, Aita et al. (2006) aplicaram DS sobre palha de aveia, em condições de campo sob PD, e verificaram que os dejetos não afetaram a mineralização do C da palha.

Na camada de 0 a 40 cm, a média dos teores variou de 23 a 25 g kg^{-1} entre os tratamentos e nos estoques variaram de 126 a 142 Mg ha^{-1} , com diferença de 16 Mg ha^{-1} entre o tratamento DS0 e o DS100. Os maiores estoques de C foram observados nos tratamentos DS100, DS200 e DS+AS com 143, 140 e 140 Mg ha^{-1} , respectivamente (Tabela 5).

Tabela 6. Média dos teores de COT e valores relativos no ano de 2010 em relação ao teor de COT em 2001 na camada de 0-20 cm em um Latossolo Vermelho Distroférico, submetido a tratamentos com doses crescentes de dejetos suíno, adubo solúvel e combinados, em cultivo de milho no verão e aveia preta no inverno, conduzidos em sistema de plantio direto.

Tratamentos	Início	AS	DS+AS	DS0	DS25	DS50	DS100	DS200	CV
Ano	2001								
COT (g kg^{-1})	25	27,3	29,6	25,6	26,9	28,3	30	30,8	
COT (%)	100 d	109 c	117 b	102 d	108 c	111 c	119 ab	122 a	3,1

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

De maneira geral, os tratamentos com as maiores doses de DS apresentaram maiores teores e conseqüentemente, estoques de C. Os teores de COT superaram o valor inicial de COT de 25 g kg^{-1} no ano de 2001 (Tabela 6). Com nove anos de aplicações de DS em sistema de plantio direto com milho e aveia e aplicação de doses DS, especialmente com doses acima de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ocorreu aumento significativo de COT. Nas doses de 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e no tratamento combinado (DS+AS) o aumento de C ao solo na camada 0-20 cm foi de 19, 22 e 17 %, respectivamente, enquanto que no tratamento AS o aumento de C foi de 9 % o qual

não diferiu do DS25 e DS50 com 8 e 11 %, respectivamente, em relação ao teores de COT em 2001.

5.3.2 Teores e estoques de carbono orgânico total no solo até 10 cm – comparação com os anos de 2006 e 2012.

Na tabela 7 foram apresentados os teores e estoques de C dos tratamentos em três camadas até 10 cm de profundidade no ano de 2006. Na camada superficial os teores e respectivos estoques são maiores e diminuem em profundidade. A distribuição do COT em profundidade foi semelhante em todos os tratamentos, sugerindo que essa característica não foi influenciada pelos tratamentos.

Tabela 7. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5 , 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2006 correspondente ao quinto ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

Tratamentos	Profundidade (cm)			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Média 0-10
	COT (g kg ⁻¹)			
AS	29 Ac	27 Ac	23 Bbc	26 d
DS+AS	34 Aabc	31 Aabc	26 Bab	29 ab
DS0	32 Ac	27 Bc	22 Cc	26 d
DS25	33 Abc	29 Bbc	25 Cabc	28 bc
DS50	38 Aab	32 Bab	25Cabc	30 ab
DS100	37 Aab	32 Bab	26 Ca	30 ab
DS200	40 Aa	34 Ba	27 Ca	32 a
CV	7,4	5,8	4,7	6,6
	----- Estoque C (Mg ha ⁻¹) -----			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Soma 0-10
AS	9 bc	9bc	16 c	36 cd
DS+AS	10 bc	10 abc	17 bc	37,9 bc
DS0	9c	9 c	19 ab	34,2 d
DS25	10 bc	9 bc	17 bc	36,7 cd
DS50	12 a	11 ab	18 abc	40,7 ab
DS100	11 ab	10 abc	20 a	40,8 ab
DS200	11 abc	11 a	20 a	41,3 a
CV	7,9	6,9	4,7	6,5

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

A estratificação do COT em sistema de plantio direto tem sido comum e é originada pela deposição superficial de resíduo vegetal de parte aérea, bem como pela maior densidade

de crescimento radicular em camadas superficiais, normalmente observada em espécies gramíneas, como o milho e a aveia, o que faz com que a acumulação de C orgânico se concentre nesta zona do perfil do solo (BAYER e BERTOL, 1999; WAISEL et al., 2002; COSTA et al., 2009; SUN et al., 2010). Os resultados estão de acordo com Gonçalves e Ceretta (1999) que em experimento com sucessão de milho e aveia preta em Podzólico Vermelho-Amarelo, após seis anos, observaram gradiente decrescente e acentuado de CO em profundidade, os maiores teores de C se concentrado na camada superficial até 5 cm. Por outro lado, Barilli (2005), em Latossolo, observou aumento da MOS apenas na sub-superfície, abaixo de 5 cm do solo, como resultado da aplicação de DS nas entre linhas de café, em na região do Centro Oeste brasileiro em áreas com 3, 7 e 26 anos de aplicações desse resíduo, decorrente possivelmente, das maiores taxas de decomposição da biomassa da superfície do solo, a região do Centro Oeste brasileiro possui uma estação extremamente chuvosa e quente e contribui para a decomposição dos resíduos mais rapidamente.

No ano de 2006 houve diferenças significativas entre os teores de COT dos tratamentos em todas as camadas até 10 cm de profundidade (Tabela 6). A maior diferença entre a média dos teores de COT nos tratamentos das camadas de 0 a 10 cm foi 6 g kg^{-1} , equivale a uma fixação de 5 Mg C ha^{-1} , observada entre os tratamentos AS e DS200 com 26 e 32 g kg^{-1} , respectivamente. Esta diferença equivale a 23 % nos teores de COT na camada de 0-10 cm.

Na camada de 0-2,5 cm, a diferença entre os teores extremos foi de 11 g kg^{-1} , o menor teor foi observado no AS (29 g kg^{-1}) e o maior no DS200 (40 g kg^{-1}) que equivale a 40 % de COT a mais (Tabela 7). O tratamento DS200 não diferiu do DS50 e do DS100, enquanto o AS se comportou de modo semelhante ao DS0, DS25 e DS+AS. Entretanto, em todas as três camadas as médias dos tratamentos DS50, DS100 e DS200 não diferiram entre si, mostrando que o aumento do teor de COT não é linear em relação às doses de DS aplicadas.

No nono ano (2010) a maior diferença entre as médias dos teores de COT dos tratamentos na camada 0 a 10 cm foi de 13 g kg^{-1} , observada entre os tratamentos DS200 com 39 g kg^{-1} e o DS0 com 26 g kg^{-1} (Tabela 8), o que equivale a 50% a mais nos teores de COT no DS200, ou seja um aumento de 9 Mg C ha^{-1} em relação ao DS0 e 6 Mg C ha^{-1} em relação ao AS.

Na camada 0-2,5 cm, a maior diferença nos teores de COT foi observada entre os tratamentos DS200 com 52 g kg^{-1} e DS0 com 34 g kg^{-1} , que resultou em uma diferença de $18,3 \text{ g kg}^{-1}$, o que correspondeu a 54% . Os tratamentos DS100 e DS50 não diferiram entre si, tendo apresentado valores semelhantes (47 e 46 g kg^{-1} , respectivamente), porém diferiram dos

tratamentos AS e DS0 (39 e 34 g kg⁻¹, respectivamente). Na camada 2,5-5 cm, observou-se que o DS50 (38 g kg⁻¹), foi igual aos tratamentos DS+AS e DS100 (38 e 39 g kg⁻¹, respectivamente, Tabela 8). Os tratamentos AS e DS25 não diferiram em relação à DS0, o que sugere que estes níveis de adubação foram insuficientes para aumentar o teor de COS. Na camada 5-10 cm o maior teor de COT foi observado no tratamento DS100, seguido do DS200, enquanto os tratamentos AS, DS+AS, DS25 e DS50 foram semelhantes, porém não diferiram dos dois primeiros (Tabela 8). Houve um aumento nos teores de COT nas camadas de 0 a 5 cm de 2006 a 2010 em relação a camada de 5-10 cm. Em 2006 a camada de 0 a 5 cm tinha 28 % de teor de C maior que na camada de 5-10, em 2010 (Tabela 8) esta diferença passou para 48 %, este resultado mostra aumento nos teores nestas camadas no tempo de 4 anos de aplicação dos tratamentos.

Tabela 8. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5 , 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2010 correspondente ao nono ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

Tratamentos	Profundidade (cm)			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Média 0-10
	----- COT (g kg ⁻¹) -----			
AS	39 Acd	34 Bbc	27 Cab	32 cd
DS+AS	43 Abc	38 Bb	28 Cab	34 bc
DS0	34 Ad	29 Bc	23 Cb	26d
DS25	41Abcd	34 Bbc	26 Cab	32 cd
DS50	46 Aab	38 Bb	27 Cab	34bc
DS100	47 Aab	39 Bb	30 Ca	36ab
DS200	52 Aa	44 Ba	29 Ca	39a
CV	6,9	6,1	6,7	6,8
	----- Estoque C (Mg ha ⁻¹) -----			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Soma 0-10
AS	12 ab	10 ab	17	39 Ab
DS+AS	13 ab	11 ab	17	40 ab
DS0	11 b	9 b	16	36 b
DS25	13 ab	11 ab	17	40 ab
DS50	15 a	12 a	18	44 a
DS100	14 a	12 a	20	45 a
DS200	14 a	12 a	19	45 a
CV	9,1	10	6,6	7,9

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Em 2012 (décimo primeiro ano, Tabela 9) os teores de COT apresentaram comportamento similar ao ano de 2010, seguindo o mesmo padrão, tanto nas camadas como

entre os tratamentos. O teor de COT no tratamento DS50 ($50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), dose anual máxima de DS para a utilização em lavouras prevista na legislação ambiental de Santa Catarina (FATMA, 2004) não diferiu estatisticamente dos tratamentos DS100 e DS200 nas três épocas avaliadas, porém observou-se que há aumento de CO na ordem de 3 g kg^{-1} de C em relação ao tratamento com adubo solúvel. Os tratamentos DS100 e DS200 têm teor de COT em média 16 e 20 % maior em relação ao AS (Tabela 9). A diferença na fixação de C dos tratamentos com DS em relação ao AS deve ser levado em consideração na construção da fertilidade do solo em razão dos benefícios trazidos pela MO no solo.

Tabela 9. Teor e estoque de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 2,5 , 2,5 a 5 e 5 a 10, no ano de 2012 correspondente ao décimo primeiro ano, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

Tratamentos	Profundidade (cm)			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Média 0-10
	COT (g kg^{-1})			
AS	38 Acd	32 Aabc	25 Bbc	30 bc
DS+AS	43 Abc	37 Aa	26 Bab	33 ab
DS0	34 Ad	25 Bc	21 Cc	25 c
DS25	37 Acd	28 Bbc	24 Bbc	28 bc
DS50	47 Aab	33 Babc	25 Cab	33 ab
DS100	50 Aab	34 Ba	26 Cab	34 ab
DS200	54 Aa	37 Ba	28 Ca	37 a
cv	6,6		11	6,7
	Estoque C (Mg ha^{-1})			
	0-2,5	2,5-5	5-10	Soma 0-10
AS	12 b	10 ab	16 bc	39 c
DS+AS	12 b	12 a	19 ab	43 b
DS0	10 b	8 b	15 c	34 d
DS25	11 b	9 ab	17 bc	37 c
DS50	15 a	11 ab	18 ab	44 ab
DS100	15 a	11 ab	19 ab	45 ab
DS200	15 a	12 a	21 a	47 a
CV	6,7	13,8	6,8	8,2

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas (minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas) diferem ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

O tratamento DS+AS (DS combinado com adubo solúvel) mostrou eficiência similar ao DS50, DS100 e DS200 no ano 2012 quanto ao aumento nos estoques de C (Tabela 9). Este resultado evidencia a possibilidade de se utilizar a adubação combinada de DS e AS, conforme as condições locais de disponibilidade de DS e de acordo com as necessidades da cultura, sem comprometer a qualidade do solo no que se refere à manutenção da MOS. Por

outro lado, os teores de COT nos tratamentos DS25 e AS foram inferiores, indicando que a dose $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS e a adubação solúvel são insuficientes para o objetivo de aumentar o teor de MOS (Tabela 9).

O teor de COT nos tratamentos DS0 e AS nos anos 2010 e 2012 apesar de não diferir estatisticamente, apresentou aumentos de 6 e 5 g kg^{-1} , respectivamente, na camada de 0 a 10 cm, o que representa de 19 a 24 % de aumento, o que equivale a uma média de 5 Mg ha^{-1} em 10 anos, ou incremento de $0,5 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Este aumento no estoque de COT possivelmente se deve ao aumento na produção da biomassa das culturas de milho e aveia (APÊNDICE A) mantida na superfície do solo. Banger et al. (2010) observaram em experimento em Latossolo no semi-árido da Índia, um aumento 19 % no COT do tratamento com NPK em relação ao controle, sem adubação, enquanto que o tratamento com DS na dose que equivale a 100 kg de N resultou em incremento no COT de 36 %. Gonçalves e Ceretta (1999) também observaram que os sistemas de culturas de cobertura em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, sob plantio direto durante seis anos, acumularam COS, embora isso tenha se observado apenas na camada superficial do solo, até 5 cm de profundidade.

A semelhança entre os tratamentos com doses a partir de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ em ambos os anos avaliados pode ser em parte ser explicado pela baixa relação C/N do DS, cuja média nas diversas aplicações foi 6. Este comportamento evidencia que além da quantidade adicionada, há outros fatores que controlam a capacidade do solo acumular CO, como a mineralogia e textura do solo (SIX et al., 2002). Por outro lado, deve-se considerar que o DS não é a única fonte para aportar C nos tratamentos, pois a biomassa aérea e radicular (APÊNDICE A) das culturas de milho e aveia também contribui para o sistema (GALE e CAMBARDELLA, 2000; ALBUQUERQUE et al., 2005; KÄTTERER et al., 2011).

Outro fator importante a ser considerado é a relação C/N da fitomassa e do DS. Quando grande quantidade de dejetos, com baixa relação C/N, é adicionada sobre a palha de aveia e milho de relação C/N alta, a relação C/N resultante é reduzida e aumenta a taxa de mineralização do material, decorrente do aumento da atividade microbiana, a qual consome parte da MOS inicial, este efeito é denominado ativador ou “priming”, a consequência é maior emissão de CO_2 , e menor fixação de C na forma de CO do solo (AITA e GIACOMINI, 2007; KUZYAKOV et al., 2000; KUZYAKOV, 2010). Aita et al. (2007) observaram que quando o DS foi aplicado sobre a palha a mineralização aparente do C dessa aumentou, superando em 9% os tratamentos com somente palha em superfície e DS incorporado + palha em superfície. Segundo os mesmos autores, a demanda de N da população microbiana decompositora somente foi atendida quando o DS foi aplicado juntamente com a fonte de C. Saviozzi et al.

(1997) e Chantigny et al. (2001) também observaram que o DS estimulou a decomposição da palha de trigo, já que a emissão total de C-CO₂ do tratamento que continha a mistura de dejetos e palha superou a soma das quantidades de C-CO₂ emitidas pelos tratamentos com o uso isolado de dejetos e de palha.

Tabela 10. Estoque de carbono orgânico total nas camadas de 0 a 2,5 , 2,5 a 5e 5 a 10 cm, em avaliações realizadas em 2006, 2010 e 2012 em um LV, cultivado com a sucessão milho aveia, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

Ano	Tratamentos						
	AS	DS+AS	DS0	DS25	DS50	DS100	DS200
----- Mg ha ⁻¹ -----							
0 – 2,5 cm							
2006	9,5 Bbc	9,7 Bbc	9,2 Bc	10,2 bc	12,3 Ba	11,2 Bab	10,7 Babc
2010	11,7 Aab	12,6 Aab	10,7 Ab	12,6 ab	14,6 ABa	13,8 Aa	14,2 Aa
2012	12,1 Ab	12,3 Ab	10,5 Ab	11,3 b	15,2 Aa	15,4 Aa	14,5 Aa
2,5 – 5 cm							
2006	9,3bc	9,5 abc	8,6 c	9,2B bc	10,7 ab	9,9 B abc	10,9 Ba
2010	10,4 ab	11,1 ab	9,4 b	10,6Aab	11,9 a	11,6 A a	12,0 Aa
2012	10,3 ab	11,6 a	7,8 b	8,9 Bab	10,8 ab	10,6 Bab	11,8 ABa
5 - 10 cm							
2006	17,4 bc	18,7 ABab	16,4 c	17,3 bc	17,7 abc	19,7 a	19,7 a
2010	16,5	16,7 B	15,9	16,5	17,5	19,9	18,9
2012	16,4 bc	19,1 Aab	15,3 c	17,1 bc	17,8 ab	19,1 ab	20,5 a
0 – 10 cm							
2006	36 Bcd	38 Bbc	34 ABd	37 Bcd	41 Bab	41 Bab	41 Ba
2010	39 Ab	40 ABab	36 Ab	40 Aab	44 Aa	45 Aa	45 Aa
2012	39 Ac	43 A b	34 Bd	37AB c	44 ABab	45 Aab	47 Aa

Fonte: Mafra, M.S.H.

Médias seguidas por letras distintas, minúsculas nas horizontais e maiúsculas na vertical, diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

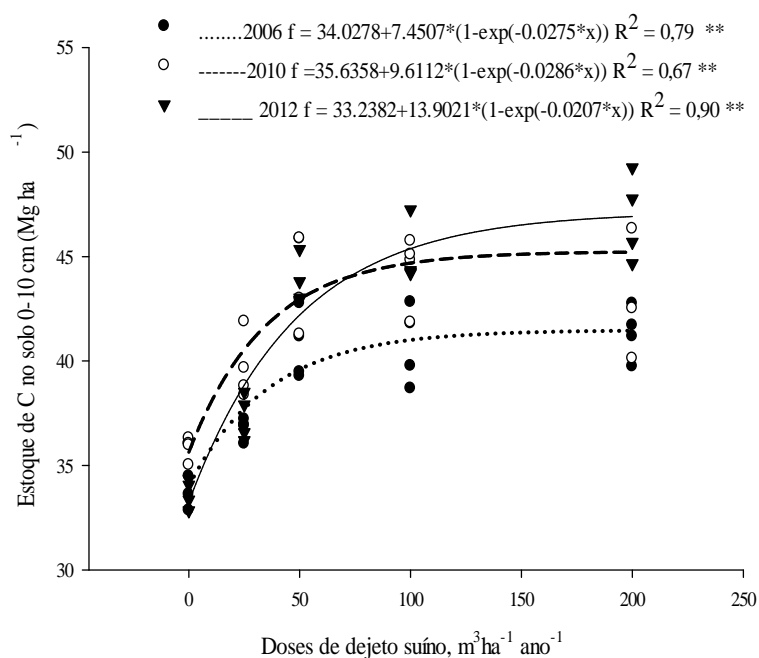
Considerando-se o conjunto dos dados, o teor de COT aumentou até o nono ano (Tabela 8) e após observou-se uma aparente diminuição do nono para o décimo primeiro ano (Tabela 9). Os menores teores de COT observados no 11^o ano, especialmente nas camadas abaixo de 2,5 cm, podem ter relação com a época das coletas. A coleta do solo no 11^o ano foi realizada no mês de maio nas entrelinhas do milho, enquanto a coleta do nono ano foi realizada no final do ciclo da aveia. Considera-se que o maior volume de raízes de aveia e a sua distribuição mais uniforme no solo, em fase inicial do processo de decomposição, já que a cultura se encontrava no final do ciclo produtivo. Campos et al. (2011) comparando amostragens bianuais, nas épocas de chuva e seca observaram diferenças significativas no teor de COT entre elas, sendo sensivelmente superior na época chuvosa se comparada a época de

seca. Estes autores justificaram as diferenças no teor de COT pela presença maior de raízes na época das chuvas.

Na camada 0-2,5 cm houve aumento de C do ano 2006 para 2010 em todos os tratamentos (Tabela 10), porém, de 2010 a 2012 não houve diferença significativa. O aumento de COT foi maior nos tratamentos DS50, DS100 e DS200, enquanto que o tratamento DS0 apresentou estoques de C menores, porém sem diferir estatisticamente dos estoques dos tratamentos AS, DS+AS e DS25, sendo este comportamento observado nos três anos.

Na camada de 2,5-5 cm, o estoque de COT foi semelhante à camada superior, embora com diferenças menores entre os anos avaliados, sendo a maior diferença observada entre os anos de 2006 e 2012 (Tabela 10), no tratamento DS+AS ($2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$). Na camada de 5-10 cm, o estoque de COT também foi maior nos tratamentos DS50, DS100 e DS200, mas esses não diferiram do DS+AS. Nessa camada, não houve aumento significativo de COT entre os anos (Tabela 10). Tal resultado é consoante com o observado por Nicoloso (2009), que estudou as taxas de aumento de estoque de COT no tempo, em Latossolo e também observou pouca diferença entre os anos nas camadas abaixo de 5 cm.

Figura 2. Estoques de carbono no solo relacionado com as doses de dejetos suíno adicionado (0-10 cm), em LV cultivado com a sucessão milho aveia, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto. Média de quatro repetições.



Fonte: Produção do próprio autor.

A variação dos estoques de C na camada de 0 a 10 cm nos tratamentos ilustra a magnitude da fixação de C no tempo e entre os tratamentos (Tabela 10). Os estoques de C orgânico nas camadas avaliadas apresentaram variação exponencial e positiva com a dose de DS (Figura 2), mostrando que não houve incrementos significativos na fixação de C ao solo a partir da aplicação de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS, o que indica a tendência de saturação da capacidade do solo fixar C na camada de 0 a 10 cm de profundidade.

5.3.3 Teores e estoques de carbono orgânico nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM)

Os maiores teores e estoques de COP foram observados nas doses mais altas de DS nas camadas superficiais até 5 cm de profundidade (Tabela 11) e decresceram em profundidade, este comportamento revela maior efeito do sistema em PD que dos tratamentos. O teor de COP na camada 0-2,5 foi de 5 a 9 vezes maior que na camada 10-20 cm (Tabela 11), isso indica que o COP é fortemente influenciado pelos resíduos vegetais e dejetos adicionados na superfície do solo e pelo manejo do solo. As características bioquímicas intrínsecas da biomassa também influenciam a taxa de decomposição dos resíduos vegetais (SWIFT et al., 1979).

Os resíduos provenientes das culturas de milho e aveia utilizados na rotação possuem alta relação C/N e composição química relativamente complexa, incluindo celulose, lignina, cutina e cera. Devido à estreita relação existente entre a dinâmica do C e do N durante a decomposição de materiais orgânicos no solo (MARY et al., 1996), o menor contato dos resíduos na superfície do solo com as partículas e com a solução do solo, e em consequência com o N, limita o crescimento e a atividade microbiana, fazendo com que o CO derivado desses materiais tenha um tempo maior de residência no solo. Situação diferente ocorre em sistemas onde os resíduos orgânicos são incorporados e sua decomposição em geral ocorre em taxas maiores (AITA et al., 2006).

As médias gerais de teor COP nos tratamentos variaram de 1,5 a $3,2 \text{ g kg}^{-1}$, que equivalem de 4 a 8 Mg C ha^{-1} . Os maiores teores de COP foram observados nos tratamentos DS100 e DS200 (Tabela 11). O estoque de COP do tratamento DS100 foi de 60 a 100 vezes maior que nos tratamentos DS25, AS e DS0, mostrando que nestes níveis de adubação ocorre

pouco aporte de COP ao solo. O estoque de COP no tratamento AS foi igual ao DS25 e DS50. No tratamento com adubação combinada (DS+AS) o teor médio de COP aumentou em 33% em relação ao tratamento AS e DS25. Estes resultados evidenciam a alta eficiência do DS na capacidade de aumentar o CO do solo se comparado ao tratamento com adubação mineral (NPK) sozinho, mesmo quando aplicado em doses inferiores ao recomendado para alta produtividade.

Tabela 11. Teores e estoques de carbono orgânico na fração particulada (COP) > 53 μm em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0-2,5	2,5-5	5-10 ^{ms}	10-20	média 0-20
	COP (g kg ⁻¹)				
AS	5,2 Aabc	3,4 ABbc	1,7 BC	0,9 Cab	1,8 cd
DS+AS	6,5 Aabc	4,9 Ab	1,9 B	0,9 Bab	2,4 bc
DS0	3,5 Ac	2,7 Bc	1,5 C	0,7 Dab	1,5 d
DS25	4,7 Abc	4,4 Ab	1,4 B	0,7 Bab	1,8 cd
DS50	5,5 Aabc	5,0 Ab	1,7 B	0,6 Bb	2,1 bc
DS100	8,2 Aa	7,6 Aa	2,5 B	1,2 Ba	3,2 a
DS200	7,5 Aab	5,1 Bb	2,5 C	1,1 Da	2,8 ab
CV	24,3	23,7	27,4	27,1	25
	Estoque COP (Mg ha ⁻¹)				
	0-2,5	2,5-5	05-10	10-20	Soma 0-20
AS	1,6 abc	1,0 b	1,1 ab	1,3 ab	5,0 cd
DS+AS	1,9 abc	1,5 ab	1,2 ab	1,3 ab	5,9 bc
DS0	1,1c	0,8 b	0,9 ab	1,1 ab	4,0 d
DS25	1,4 bc	1,4 b	0,9 b	1,0 ab	4,7 cd
DS50	1,7 abc	1,6 ab	1,1 ab	0,8 b	5,2 c
DS100	2,4 a	2,3 a	1,6 ab	1,7 a	8,0 a
DS200	2,0 ab	1,4 b	1,7 a	1,6 a	6,7 b
CV	23,2	25,4	25,8	27,1	26,2

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas com o mesmo sinal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Na camada de 0-2,5 cm o maior teor de COP foi observado no tratamento DS100 (8,2 g kg⁻¹) que equivale a 2,4 Mg ha⁻¹ e representa aumento de C de 135% a mais em relação ao DS0 e 58 % em relação ao AS. Os tratamentos AS, DS+AS e DS50 não diferiram estatisticamente, porém a diferença do DS+AS em relação ao AS foi 1,3 g kg⁻¹, que corresponde a 25% a mais no teor de COP. O tratamento DS100 não diferiu do DS200, DS50, DS+AS e AS (Tabela 11).

Na camada de 2,5-5 cm observou-se incremento do teor de COP no tratamento DS100 de 180% e 124 % em relação aos DS0 e AS, respectivamente. O tratamento DS50 apresentou

aumento de 47% em relação ao AS. Os tratamentos com DS contribuíram mais no aumento do COP se comparado ao DS0 e AS. No geral, os estoques de COP nas camadas 2,5-5, 5-10 e 10-20 cm apresentaram a mesma tendência da camada de 0-2,5 cm, embora com magnitude menor (Tabela 11).

O efeito dos tratamentos nos estoques de COP em profundidade até 20 cm pode ser explicado pela contribuição das raízes das culturas no aumento dos estoques de C em profundidade. Em experimento com utilização de ^{14}C , Gale e Cambardella (2000) observaram que a maior parte do ^{14}C adicionado através das raízes estava associada com as frações silte+argila e particulada (COP), comprovando que em solos pouco revolvidos, o COP pode ser derivado principalmente de raízes. Assim, em sistema de PD, a contribuição do sistema radicular é preponderante no aumento dos estoques de C do solo em profundidade. (RASSE et al., 2005).

O efeito sinérgico do manejo associado à aplicação de doses de DS contribuiu para o estoque de COP em profundidade. O DS, além de contribuir diretamente, através da adição de matéria orgânica, contribui de forma indireta, na promoção do incremento de fitomassa aérea e radicular para a acumulação do COP no solo (BAYER et al., 2003; CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; GREGORICH e JANZEN, 1996). A amplitude dos teores de COP observada entre os tratamentos mostra o caráter sensível desta fração. Neste sentido, alterações no manejo do solo podem alterar a dinâmica da MOS em prazo relativamente curto as quais podem ser detectadas a partir da análise do COP (BAYER et al., 2001)

Na camada 5-10 cm não houve diferença estatística entre os tratamentos no teor de COP (Tabela 11), porém é importante ressaltar que houve um incremento de 67% nos teores de COP dos tratamentos DS100 e DS200 em relação ao DS0 que equivale a $0,9 \text{ Mg C ha}^{-1}$. Na camada 10-20 cm os tratamentos DS100 e DS200 apresentaram teores de COP maiores que os demais, possivelmente devido ao maior volume de biomassa radicular produzida, evidenciando a contribuição do sistema radicular no aporte de C particulado em profundidade. Gale e Cambardella (2000) observaram que após um ano de experimento utilizando solo e raízes, 42% do ^{14}C original derivado das raízes permaneceu como carbono orgânico no solo nas formas lábil (COP) e associado aos minerais silte e argila (CAM), enquanto que apenas 16 % do derivado da biomassa aérea permaneceram no solo e majoritariamente na fração CAM. Entretanto, esses mesmos autores observaram que a biomassa aérea pode ter aumentada sua contribuição na fixação de C no solo quando na presença de minhocas (*Lumbricus terrestris*), situação na qual há transporte de material orgânico da superfície para o interior do solo, assim, sustentam que a maior parte do COP é derivado das raízes, enquanto a maior parte da

biomassa aérea é decomposta em CO₂ e emitida para a atmosfera (GALLE e CAMBARDELLA, 2000). Parte do C da palha pode ainda solubilizar e ser lixiviado através dos poros com a água da chuva, fato esse observado por Collins et al. (1990) que em condições de campo, observaram que em torno de 10% do C da palha de trigo é solúvel e foi lixiviado com a água da chuva através dos poros para o interior do solo, potencializando a fixação de C da biomassa aérea.

Tabela 12. Teores e estoques de carbono orgânico associado aos minerais (CAM) < 53 µm em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.

Tratamentos	Profundidade (cm)				Média 0-20
	0-2,5	2,5-5	5-10 ^{ns}	10-20 ^{ns}	
CAM (g kg ⁻¹)					
AS	33 Abc	31 Abc	25 BC	22 C	26 b
DS+AS	36 Abc	33 Ab	26 B	24 B	27 b
DS0	31 Ac	27 Bc	23 BC	22 C	24 c
DS25	36 Abc	30 Bbc	25 C	21 C	25 bc
DS50	40 Aab	32 Bbc	25 C	21 C	26 b
DS100	38 Aab	31 Bbc	28 B	22 C	26 b
DS200	44 Aa	39 Ba	26 C	22 C	28 a
CV	8,5	8,1	7,8	6,8	
Estoque CAM (Mg ha ⁻¹)					
	0-2,5	2,5-5	05-10 ^{ns}	10-20 ^{ns}	Soma 0-20
AS	10 ab	9 ab	15	32	67 ab
DS+AS	11 ab	10 ab	16	34	70 a
DS0	9 b	8 b	14	32	65 b
DS25	11 ab	9 ab	16	32	68 ab
DS50	13 a	10 ab	16	30	70 a
DS100	12 a	10 ab	18	31	70 a
DS200	12 a	11 a	17	31	71 a
CV	10,8	9,4	11,3	6,8	

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas com o mesmo sinal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

Os teores de CAM diminuíram em profundidade, porém em uma amplitude menor que a observada na COP, os teores de CAM da camada 0- 2,5 cm foram de 36 a 40 % maiores que os teores da camada de 10 a 20 cm enquanto que na COP foi de 400 a 600 % (Tabela 12). Entre as médias dos tratamentos, o DS200 apresentou o maior teor de CAM, com 28 g kg⁻¹, contra DS0, com 24 g kg⁻¹. Não foram observadas diferenças entre AS, DS+AS, DS25, DS50 e DS100, na média dos teores de CAM das camadas de 0 a 20 cm.

A menor amplitude entre os teores de CAM nos tratamentos se comparado com os teores de COP, se explica porque o CAM representa a fração de partículas orgânicas menores,

com forte interação aos minerais de argila e silte e no interior de microagregados, caracterizando formas mais protegidas e, por isso, mais estáveis e menos dependentes das variações de curto prazo decorrentes do manejo do solo. Assim, a separação do COT em frações COP e CAM permite distinguir as frações de maior e menor estabilidade no solo. A fração COP corresponde ao carbono lábil que está suscetível à mineralização em curto prazo, sendo mais sensível às alterações associadas ao aporte de resíduos vegetais e sua suscetibilidade à degradação vinculada ao manejo do solo, sendo a primeira fração a refletir as alterações que causam mudanças no teor de C no solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

A distribuição dos estoques de CAM em profundidade foi homogênea caracterizando um solo manejado com revolvimento, apesar dos 9 anos de tratamentos em PD, mostrou que esta fração é menos sensível a mudanças de manejo em períodos de curto prazo. De modo semelhante ao observado na fração COP, o efeito dos tratamentos no teor de CAM foi maior nas camadas superficiais até 5 cm. Na camada de 0 a 2,5 cm os tratamentos DS200, DS100 e DS50 diferiram do DS0 em 3 a 4 Mg ha⁻¹, que correspondem a 33 a 44 % de adição de C na fração associada aos minerais. Na camada de 2,5-5 cm foi observada diferença apenas entre o tratamento DS200 e DS0 com 37 % a mais no DS200 (Tabela 12). Na camada de 5-10 cm não houve diferença estatística, apesar de haver um aumento de 3 e 5 g kg⁻¹ de CAM no tratamento DS100 em relação ao AS e DS0, respectivamente, estes teores equivalem em massa de CAM a 3 e 4 Mg C ha⁻¹. O CAM aumentou de forma proporcional do DS0 para o DS100 de 14 para 18 Mg C ha⁻¹, e diminuiu no DS200 para 17 Mg C ha⁻¹. O aumento foi de 29 % no tratamento DS100 em relação ao DS0 (Tabela 12), esta diferença não foi estatística, possivelmente devido ao coeficiente de variação mais alto (11,3) nesta camada de solo. Considerando que o C necessita de um tempo maior para ser estabilizado nesta fração, o aumento de C observado deve ser considerado, haja vista os benefícios do aumento da MOS.

A magnitude das variações entre os tratamentos na CAM foi semelhante às observadas no COT e menor do que as observadas no de COP, mostrando maior potencial de discriminação do método de separação das frações na análise dos efeitos das práticas de manejo na acumulação de COS e evidencia a aplicabilidade desse atributo na avaliação das modificações decorrentes do uso do solo em curto prazo, devido à sensibilidade dessa fração frente ao manejo do solo e ao uso do DS (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992; BAYER et al., 2004). Loss et al. (2009) observaram que o teor de COP foi o melhor indicativo de qualidade da MOS em relação às alterações de manejo em curto prazo em um Argissolo com diferentes usos. A fração COP possui maior taxa de decomposição e menor tempo de residência no solo se comparada à fração CAM possibilitando o uso da primeira como

indicador dos impactos nas mudanças de manejo do solo em curto prazo de tempo, conforme também relatado por Cambardella e Elliott (1993) e Rasse et al. (2005).

As relações COP/COT foram de 3 a 4 vezes maiores nas primeiras camadas até 5 cm em relação as camadas de 10 a 20 cm de profundidade (Tabela 13). Na camada de 0-2,5 cm a relação variou de 10 (DS0) a 17% (DS100). Estes resultados mostraram maior teor de COP em relação ao COT nas primeiras camadas do solo e nos tratamentos com maiores doses de DS, com destaque para o DS100.

Tabela 13. Relação COP/COT em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de DS, adubo solúvel e combinação DS e AS.

Tratamentos	Profundidade (cm)				
	0-2,5	2,5-5	5-10	10-20	média 0-20
	(COP/COT)*100				
AS	13 A	10 ABb	7 BC	4 Cab	6 c
DS+AS	15 A	13 ABab	7 BC	4 Cab	8 bc
DS0	10 A	9 Ab	6 B	3 Cab	6 c
DS25	13 A	11 Aab	5 B	3 Bab	7 bc
DS50	12 A	13.Aab	6 AB	2 Bb	8 bc
DS100	17 A	20 Aa	8 B	5 Ba	11 a
DS200	14 A	11 Bb	9 B	4 Cab	9 b

Fonte: Produção do próprio autor

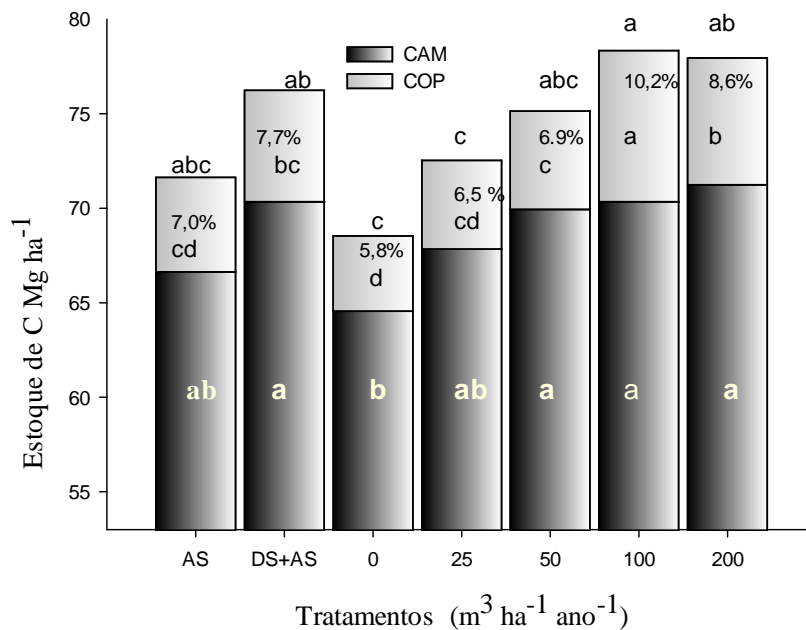
Médias seguidas de letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas com o mesmo sinal não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

A amplitude nos teores relativos da fração COP sobre o COT mostra o caráter mais sensível da fração COP com relação às mudanças no manejo do solo em curto prazo de tempo, que se refletem nos maiores valores observados nos tratamentos com maiores doses de DS. Observou-se que no tratamento DS100 e DS200 a média (0-20 cm) dos valores da relação COP/COT foi de 11 e 9, respectivamente (Tabela 13). Esse resultado reflete o maior acúmulo da fração COP em resposta à adição de CO do dejetado e à produção de biomassa das culturas de milho e aveia preta. Esse efeito também pôde ser observado na camada de 10-20 cm, possivelmente devido à contribuição proporcional do sistema radicular como resposta à maior adubação.

O estoque de C na fração CAM representa uma média de 92% do total do estoque de COT na camada 0-20 cm (Figura 3), sendo constituída pelo material orgânico mais estabilizado em longo período de tempo. O estoque de CO na fração CAM (Tabela 13) evidencia amplitude relativa de variação menor do que o de COP, conforme também observado no estoque de COT. Esses dados confirmam as considerações em relação à maior

sensibilidade da fração COP para análise de impactos de mudanças no manejo do solo (CONCEIÇÃO et al., 2005).

Figura 3. Estoques de C na fração particulada (COP) e associada aos minerais (CAM) na camada de 0 a 20 cm. Letras comparam os tratamentos AS, DS+AS e doses de DJ pelo teste médias de acordo com Tukey ($P < 0,05$). As porcentagens representam a relação (COP/COT*100) relacionado com as doses de dejetos adicionado em LV cultivado com milho, submetido a aplicações anuais de doses crescentes de DS e adubação solúvel, isolada e combinada a DS em sistema de plantio direto.



Denef et al. (2007) observaram em estudo em dois Latossolos brasileiros, que o C associado aos minerais nos microagregados e intramacroagregados estocaram a maior parte do C acumulado, sob sistema de PD, e concluíram que esta forma de C estabilizado é importante no processo de fixação de carbono no solo. Embora a maior acumulação ocorra na fração CAM, deve ser considerado o papel da fração COP como "ponte" entre a fração leve de material orgânico constituído de fragmentos derivados de resíduos vegetais e do estoque de C na fração estabilizada (CAM). De acordo com Six et al. (2000), o C dos resíduos não é imediatamente estabilizado na superfícies dos minerais, ou nos microagregados, mas, passa primeiramente por processos de estabilização lentos enquanto o COP permanece protegido somente no interior dos agregados (SIX et al., 2000; DIECKOW et al., 2010).

5.3.4 Estabilidade dos agregados

O diâmetro médio ponderado (DMP) e o diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados do solo (Tabela 14) foram considerados altos em relação aos solos em geral. O DMP variou entre 4,6 a 5,8 e o DMG, entre 3,4 e 5,2. Valores de DMP próximos de 6 também foram observados por Albuquerque et al. (2000) em Latossolo Bruno na região do Planalto Catarinense. Segundo Kemper e Chepil (1965), as variáveis DMP e DMG podem ser utilizadas para expressar o tamanho dos agregados e o estado de agregação do solo. O DMP é tanto maior quanto maior for a percentagem de agregados grandes retido nas peneiras com malhas maiores e o DMG representa uma estimativa do tamanho da classe de agregação de maior ocorrência. Observou-se que os agregados das classes: > 4,75, 4,75-2, 2-1, 1-0,25 mm representaram em média em torno de 87%, 18%, 2% e 3%, respectivamente, justificando assim, o elevado DMP observado (Tabela 14).

Diversos estudos relataram associação positiva entre agregação e aumento da MOS (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1993; GOLCHIN et al., 1994; BAYER e BERTOL, 1999; GALE et al., 2000; SIX et al., 2000). Porém, Hassink (1997) concluiu que o C associado com complexos organominerais primários está quimicamente protegido e a quantidade de C protegido aumenta com os teores de argila + silte no solo.

Tabela 14. Diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) de agregados em LV submetido a nove anos de aplicação de doses crescentes de dejetos suíno (DS), adubo solúvel (AS) e combinação (DS+AS), em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

	DS0	AS ^{NS}	DS+AS ^{NS}	DS25 ^{NS}	DS50 ^{NS}	DS100	DS200 ^{NS}
	DMP, mm						
0 a 2,5 ^{ns}	5,6 A	5,6	5,4	5,6	5,7	5,8 A	5,4
2,5 a 5 ^{ns}	5,3 AB	5,4	5,3	5,4	5,4	5,6 AB	5,5
5 a 10 ^{ns}	5,5 A	5,3	5,4	5,6	5,3	5,2 B	5,3
10 a 20 ^{ns}	4,9 B	5,1	4,6	5,0	5,1	5,2 B	5,6
	DMG, mm						
0 a 2,5 ^{ns}	4,7 A	4,9	4,6	4,8	4,8	5,2 A	4,5
2,5 a 5 ^{ns}	4,5 AB	4,6	4,2	4,6	4,3	4,9 AB	4,6
5 a 10 ^{ns}	4,8 A	4,5	4,4	4,7	4,6	4,4 B	4,4
10 a 20 ^{ns}	4,0 B	4,0	3,4	4	4,1	4,4 B	4,9

Fonte: Produção do próprio autor

Letras maiúsculas iguais nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de médias de Tukey a 5% de significância. Tratamentos: DS0; AS: Adubação solúvel; DS+AS: ½ adubo solúvel e ½ dejetos (25 m³ ha⁻¹); DS25, DS50, DS100 e DS200: 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ de DS.

A estabilidade de agregados medida pelo DMP e DMG não diferiu entre os tratamentos. A alta taxa de agregados grandes observada e a ausência de efeito entre

tratamentos podem ser explicadas pela textura muito argilosa e forte presença de óxidos de ferro do solo estudado, destacando-se que o solo da área experimental possui teor de argila em torno de 660 g kg^{-1} e teor de óxidos de ferro (hematita mais goethita) em torno de 120 g kg^{-1} na camada de 0-20 cm (Almeida et al., 2003), o que caracteriza solo com alta capacidade de estruturação granular, em razão da forte ação cimentante entre as partículas primárias, proporcionada pelos oxihidróxidos de Fe e Al, e pela forte interação desses com a caulinita e com a MOS.

Estes dados evidenciam que a adição de DS até $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ durante 9 anos não teve efeito sobre a proporção de agregados grandes neste solo (Tabela 14). Na teoria da hierarquização proposta para solos de clima temperado (OADES, 1984), o papel da matéria orgânica na agregação parece ser proporcionalmente menor. Assim, ao contrário dos solos de clima temperado, onde os compostos orgânicos são os principais agentes estabilizantes dos agregados, em solos muito intemperizados os óxidos são os principais agentes estabilizantes, sobrepondo-se aos materiais orgânicos (SIX et al., 2002).

No geral, DMP e DMG permaneceram constantes em profundidade, e apenas nos tratamentos DS0 e D100 as diferenças foram significativas, onde nas camadas superficiais os índices DMP e DMG foram maiores (Tabela 14). O plantio direto pode levar a um aumento na estabilidade dos agregados nas camadas superficiais, inclusive em solos intemperizados como no caso do Latossolo, favorecido pela maior quantidade de matéria orgânica na superfície do solo, que contribui na maior estabilidade e maior tamanho dos agregados (ZOTARELLI et al., 2005). O acúmulo de MO nas camadas superficiais pode aumentar a atividade biológica, aumentando a formação de hifas de fungos que envolvem as partículas mais finas do solo, formando agregados maiores e mais estáveis (SILVA e MENDONÇA, 2007). Porém, os dados mostraram que não houve efeito na estabilidade de agregados entre as camadas. A principal explicação é a forte estabilidade de agregados intrínseca.

5.3.5 Teor de C em classes de agregados

Os teores de C nas classes de agregados: 1 ($> 4,75 \text{ mm}$), 2 ($4,75\text{-}2 \text{ mm}$) e 3 ($< 2 \text{ mm}$) seguiu na seguinte ordem: classe 3 $>$ classe 2 $>$ classe 1 (Tabela 15). Os agregados de menor diâmetro ($< 2 \text{ mm}$) possuem maior teor de CO. Os agregados maiores ($> 4,75 \text{ mm}$) apresentaram aumento de C na medida em que aumentaram as doses de DS nos tratamentos até a dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

Tabela 15. Teor de C dos agregados nas classes: 1 (> 4,76 mm); 2 (4,76 – 2,00 mm); e, 3 (< 2 mm), em LV submetido de doses crescentes de dejetos suíno (DS), adubo solúvel (AS) e combinação (DS+AS), em sistema de plantio direto, média de quatro repetições.

PROF., cm	DS0	AS	DS+AS	DS25	DS50	DS100	DS200
Classe 1 (g kg ⁻¹)							
0 – 2,5	36 A d	39 A cd	38 A cd	42A bcd	47 A bc	48A a	48 Aa
2,5 – 5,0	28 B b	32 B ab	32 B ab	31 B ab	38 B a	37 B a	38 B a
5,0 – 10 ^{ns}	21 C	23 C	25 C	24 C	27 C	26 C	26 C
10 - 20 ^{ns}	23 C	24 C	22 C	23 C	24 C	24 C	23 C
média	27 c	30 b	29 b	30 b	34 a	34 a	34 a
Classe 2 (g kg ⁻¹)							
0 – 2,5	37 A b	43 A ab	45 A ab	43 A ab	53 A a	53 A a	51 A a
2,5 – 5,0	31 B b	36 B ab	37 B ab	38 A ab	40 B a	39 B ab	39 B ab
5,0 – 10	27 C b	27 C ab	28 C ab	29 B ab	31 C a	28 C ab	28 C ab
10 - 20 ^{ns}	24 C	25 D	24 C	25 B	25 C	26 C	25 C
Média	30 d	34 cd	33 cd	34 bc	37 a	36 ab	36ab
Classe 3 (g kg ⁻¹)							
0 – 2,5 ^{ns}	40 A	41 A	43 A	42 A	44 A	48 A	50 A
2,5 – 5,0 ^{ns}	33 B	37 A	38 A	40 A	41 A	42 A	40 B
5,0 – 10 ^{ns}	30 B	31 B	33 B	30 B	32 B	32 B	31 C
10,0 – 20 ^{ns}	26 C	29 B	26 C	26 B	27 B	26 B	26 C
Média ^{ns}	32 b	34 ab	35 ab	35 ab	36 a	37 a	37 a

Fonte: Produção do próprio autor

Letras maiúsculas iguais na coluna e minúsculas na linha, não diferem estatisticamente ao nível de significância de 5% pelo teste de Tukey.

Os agregados de menor diâmetro podem ser estabilizados por matéria orgânica mais persistente, antiga e resistente à degradação microbiana (PUGET et al., 1995; SIX et al., 1998). O maior conteúdo de C nos agregados menores pode estar relacionado com a predominância de microporos, que dificultam o acesso de microrganismos decompositores e pelas condições anaeróbicas que prevalecem nos microporos (SIX et al., 2002). Conteh e Blair (1998) observaram que o conteúdo de C total e do C lábil aumentou com a diminuição do diâmetro dos agregados, embora a fração leve tenha diminuído nos agregados menores e também que as perdas de C total e C lábil como resultado do cultivo são maiores nos agregados maiores em relação aos menores. Os pelos radiculares e micorrizas podem penetrar através dos microporos dos agregados, contribuindo diretamente no incremento de COP nestas estruturas, contribuindo também para formar a fração protegida ou oclusa da MOS (ALLAWAY e ASHFORD, 1996; RASSE, et al., 2005). O aumento na concentração de C nos agregados conforme aumento do diâmetro foi observado em solos cultivados sob diferentes condições por diversos autores (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993; SIX et al., 1998; JOHN et al., 2005 e ASSIS et al., 2006).

A variação dos teores de C no interior dos agregados foi significativa entre camadas nas 3 classes de agregados avaliadas (Tabela 15). O teor de C no interior dos agregados foi maior nas camadas superficiais até 5 cm, mostrando consonância com resultados dos teores de COT, onde diminui com a profundidade (Tabela 5). Este comportamento é relacionado ao sistema de manejo do solo em plantio direto, no qual ocorre maior teor de MOS, atividade microbiana e concentração dos nutrientes, principalmente do P disponível (COSTA, 2011), nas camadas superficiais. Isso resulta na concentração de maior volume de raízes das plantas nesta camada do solo. Os pelos radiculares crescem através dos poros dos agregados, na medida em que esses morrem, ficam protegidos da ação dos decompositores, constituindo parte da fração leve oclusa da MO do solo (ALLAWAY e ASHFORD, 1996; RASSE, et al., 2005). Além disso, há contribuição de compostos orgânicos exsudados através da rizosfera, mucilagens, biomassa microbiana, que produz polímeros que atuam como agentes ligantes na formação de novos agregados ou entre agregados (TISDAL e OADES, 1979).

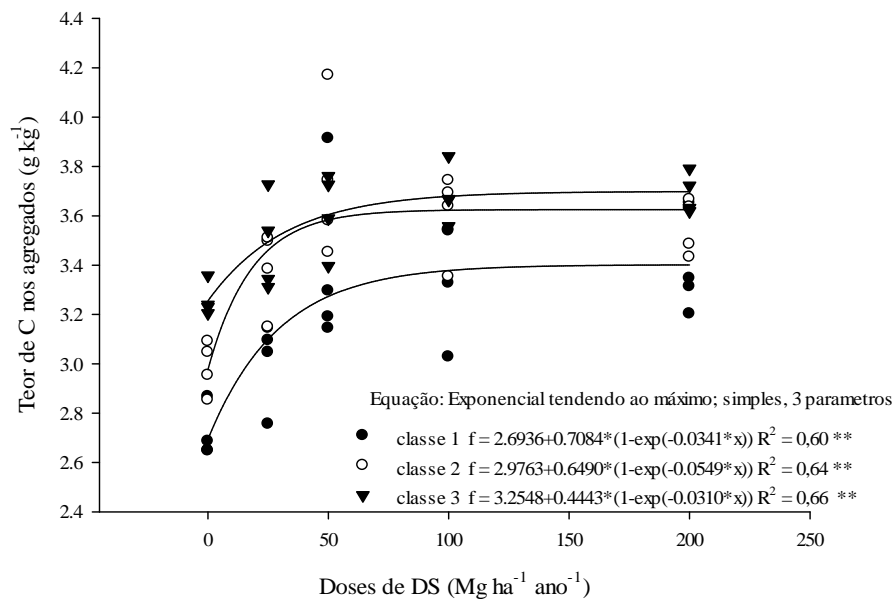
Nos agregados das classes 1 e 2, que representam os agregados de diâmetro maior que 4,75 e de 4,75 a 2 mm, foram observadas diferenças nos teores de C entre os tratamentos até 5 cm e 10 cm de profundidade, respectivamente (Tabela 15). O teor de C dos agregados em geral aumentou com as doses de DS aplicados, comportamento que indica a contribuição dos compostos orgânicos na formação dos agregados maiores (SIX et al., 2002).

Na camada 0-2,5 cm, o teor de C dos agregados na classe 1 ($> 4,76$ mm) variou de 3,6, no tratamento DS0 para $4,8 \text{ g kg}^{-1}$ nos DS100 e DS200 e na camada 2,5-5 cm, variou de 2,8 no tratamento DS0 para $3,8 \text{ g kg}^{-1}$ no DS50 e DS200 (Tabela 15). Nas camadas abaixo de 5 cm não houve efeito significativo de tratamentos.

Não foi observado aumento dos teores de COT nos agregados em doses maiores que $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS (Figura 4). Este comportamento pode ser um indício do limite da capacidade do potencial de proteção física da MOS. Este comportamento está de acordo com a teoria da saturação de C do solo (SIX et al., 2002; FABRIZZI et al. 2009) e de acordo com estes autores o aumento dos estoques de C é seguido por um aumento concomitante da agregação do solo em classes de tamanho maior. Os processos de acumulação de COT e saturação de uma dada camada de solo são reguladas pela quantidade de agregados grandes (> 2 mm). Esta limitação deve ser considerada e pode ser calculada através dos modelos matemáticos para evitar superestimação da capacidade do solo de acumular COT (NICOLOSO, 2009). Outras indicações sobre níveis de saturação por carbono no solo foram dadas por Campbell et al. (1991) e Solberg et al. (1997). Ambos os estudos constataram que a

partir de certo valor adicionado não houve aumentos no teor de C no solo, embora essas adições de C ao solo aumentassem de duas a três vezes.

Figura 4. Relação entre os teores de C nos agregados nas classes 1 (> 4,76 mm); 2 (4,76 – 2,00 mm); e, 3 (< 2 mm) e as doses de DS aplicados ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$), em 9 anos de aplicações sob sistema de plantio direto em LV.



Fonte: Produção do próprio autor

Os teores de C dos agregados da classe 3 (< 2 mm) não apresentaram diferenças entre tratamentos (Tabela 15). Esses dados estão de acordo com os resultados de Zotarelli et al. (2005), que não observaram diferenças nos teores de C em agregados de diferentes tamanhos em Latossolos das regiões de Passo Fundo, RS e Londrina, PR, cultivados em sistema de plantio direto e convencional. Dessa forma, evidencia-se que nestas condições de solo, a predominância das ligações físico-químicas entre as partículas que formam os agregados menores conferem menor dependência da agregação em relação à MOS em comparação a solos menos intemperizados (SILVA e MENDONÇA, 2007). Contudo, é reconhecido que a MOS atua fortemente em fases posteriores da agregação e na formação de agregados de tamanho maior, como agente cimentante, e contribui para retardar a entrada de água nos agregados, aumentando a sua resistência quando umedecidos (SILVA e MENDONÇA, 2007).

5.4 CONCLUSÕES

1. A aplicação de DS aumenta o teor e os estoques de COT nas camadas até 10 cm de profundidade com valores máximos para as doses maiores que $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.
2. A dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS, recomendada para Santa Catarina, obteve teores de COT semelhantes da dose $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS, $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS complementada com adubos solúveis e no tratamento com adubo solúvel isolado.
3. Os teores e estoques de CO nas frações particulada (COP) e associada aos minerais (CAM) foram maiores nas camadas superficiais até 5 cm, com maior amplitude nos teores de COP em relação a CAM..
4. A estabilidade dos agregados, medida pelo diâmetro médio ponderado (DMP) e diâmetro médio geométrico (DMG) não é influenciada pelo aumento na dose de DS.
5. O teor de C nos agregados maiores que 2 mm aumenta até a dose de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de DS e estabiliza nas doses de 100 e 200. $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$.

6 CAPÍTULO II. TAXAS DE FIXAÇÃO DE CARBONO E ÍNDICE DE MANEJO DO CARBONO EM LATOSSOLO VERMELHO SUBMETIDO A APLICAÇÃO DE DS SOB SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

RESUMO

A produção de suínos em Santa Catarina tem grande importância econômica é uma alternativa de ocupação e permanência de famílias de agricultores na zona rural, porém, gera volume significativo de dejetos que exigem deposição adequada. De outro lado, ainda restam dúvidas sobre o potencial de fixação de COS nos diversos compartimentos em solo adubado com DS. O objetivo desse trabalho foi estimar as taxas de fixação anuais de C e avaliar o índice de manejo do carbono cultivado com milho no verão e aveia preta no inverno e submetido a aplicações anuais de doses de dejetos suíno, adubação solúvel e combinada (solúvel +DS) durante 11 anos, sob plantio direto. O experimento iniciou em 2001, no município de Campos Novos-SC e compreendeu os seguintes tratamentos: adubo solúvel (AS); adubo solúvel combinado ao dejetos suíno na dose de $25 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS+AS); e dejetos suíno nas doses zero (sem adubação, DS0); 25 (DS25); 50 (DS50); 100 (DS100); e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS200). As taxas de fixação de C foram calculadas através de modelos matemáticos com base no tempo e em relação ao sistema de fertilização. As taxas de fixação de C real (TFCr) nos tratamentos aumentaram até $2,0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ na dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS100) e as taxas de fixação de C aparente (TFCa) dos tratamentos com 50 (DS50) e $100 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ (DS100) foram de 0,4 e $0,8 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente, em relação ao tratamento com adubo solúvel (AS). Não houve diferença nas taxas de fixação de C real e aparente entre os tratamentos com dose 100 e $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. As taxas de fixação de C real dos tratamentos aumentaram com as doses de DS seguindo um modelo exponencial tendendo a um valor máximo dentro da faixa de 1,6 a $2,0 \text{ Mg C ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, que corresponde a dose na faixa de 50 a $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. O tratamento com a dose de $100 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ apresentou o maior índice de labilidade e conseqüentemente o melhor índice de manejo de carbono (IMC), com base no estoque de COP.

Palavras-chaves: esterco. índice de manejo. fixação de carbono.

6.1 INTRODUÇÃO

Agricultura pode representar uma opção competitiva de baixo custo para mitigar as mudanças climáticas, com a redução ou eliminação do revolvimento no preparo do solo e aumentando a fixação de C da atmosfera no solo (SMITH et al., 2007). O aumento COS segue um padrão exponencial e geralmente alcança as taxas máximas dentro de 5 a 20 anos após a adoção do sistema de preparo em PD (LAL, 2004). No entanto, o solo é considerado um reservatório finito de C, com um tempo estimado em 20 a 50 anos úteis de acordo com a quantidade de C introduzido no sistema (WEST e POST, 2002).

Em condições naturais, o estoque de carbono é determinado, principalmente por condições climáticas e pelo tipo de solo, devido à influência desses fatores nas taxas de adição e de perda (BAYER e MIELNICZUK, 1997). O uso agrícola altera o conteúdo de C do solo, sendo observada redução acentuada quando utilizados métodos de preparo com intenso revolvimento e sistemas de cultura com baixa adição de resíduos vegetais. A redução nos estoques de carbono orgânico, resultante do manejo intensivo do solo pode ser atribuída principalmente a aumentos da erosão, devido à exposição do solo à chuva e vento (SCHICK et al., 2000; BERTOL et al. 2004), da taxa de decomposição microbiana e consequentes emissões de dióxido de carbono, bem como ao menor aporte de materiais orgânicos, o que tem por consequência a diminuição da matéria orgânica do solo (HOUGHTON et al., 1991). Nessa situação pode haver degradação das condições químicas, físicas e biológicas do solo, além da perda de produtividade das culturas (BAYER e MIELNICZUK, 1997).

Entretanto, o aumento da matéria orgânica no solo também pode ser promovido pela diminuição das taxas de decomposição e, do aumento do influxo de C nos agroecossistemas. Isso pode ser obtido com adoção de práticas de manejo que recuperem solos degradados e aumentem o armazenamento de C orgânico no solo. Da mesma forma, a manutenção de teores suficientes MOS, cujo principal componente é o C, é crucial para os processos biológicos, químicos e físicos do solo, determinando seu potencial produtivo.

Entre as estratégias possíveis, visando o aumento de matéria orgânica no solo, destacam-se o manejo do solo com menor revolvimento (BAYER et al., 2000a), manejo que preserve os resíduos culturais e promova a ciclagem de nutrientes (SÁ et al., 2001), cultivo de plantas de cobertura (FRANZLUEBBERS et al., 2001; CALEGARI, 2006) e uso de esterco provenientes da pecuária intensiva (SCHERER et al., 2007).

Boas práticas de manejo do solo, além de aumentar o conteúdo de MOS, podem diminuir a emissão de dióxido de carbono (CO₂), que é considerado um dos principais gases

de efeito estufa (BAYER et al., 2000b). Além disso, o aumento da MOS contribui para melhorar a fertilidade do solo e a produtividade das culturas (LAL, 2004).

O aumento da MOS é diretamente relacionada à adição de resíduos ao solo (RASMUSSEN et al., 1980) e aplicação de fertilizantes químicos e orgânicos (HARTWIG e AMMON, 2002). Porém, o tempo de mineralização e estabilização da matéria orgânica estendem-se por décadas e, sendo assim as variações no conteúdo do carbono orgânico total (COT) são lentas e pouco sensíveis às práticas de manejo de curto prazo (STEVENSON, 1994).

O objetivo desse trabalho foi avaliar a fixação de C através das taxas anuais de estoque e o índice de manejo do C em um LV, cultivado com milho e submetido à aplicação anual de doses de DS, adubação solúvel e combinada (solúvel +DS) durante 11 anos, sob plantio direto.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Os aspectos do material e métodos referentes à descrição do local, clima, solo, delineamento experimental, tratamentos, Composição química do dejetos suíno e amostragem do solo, foram descritos no capítulo 1.

6.2.1 Amostragem do solo da Mata

A amostragem do solo da mata foi realizada em outubro de 2012 (Quadro 1) numa área de mata nativa distante cerca de 200 m da área experimental. Foram coletadas duas amostras compostas de quatro sub-amostras em locais afastados 50 m entre si, utilizando-se a mesma metodologia da coleta feita no experimento. Realizou-se ainda a coleta de anéis para análise de densidade do solo nas camadas de 0-5, 5-10 e 15-20 cm de profundidade

6.2.2 Taxas de fixação de C

As taxas de fixação de C do solo foram calculadas por dois diferentes modelos: real e aparente a partir dos dados disponíveis dos dois anos avaliados e com base no teor de COT e da densidade na implantação calculou-se o estoque de COT inicial na profundidade de 0-20 cm. As taxas de fixação de carbono orgânico foram calculadas da seguinte forma:

(1) TFCr - taxa de fixação de carbono orgânico real;

$$\text{TFCr} = (C_{\text{tr}t_u} - C_{\text{tr}t_0}) / (t_u - t_0)$$

(2) TFCa - taxa de fixação de carbono orgânico aparente;

$$\text{TFCa}_t = (C_{\text{DS}t_u} - C_{\text{AS}t_u}) / (t_u - t_0)$$

Onde: “TFC” é a taxa de fixação de carbono orgânico total em $\text{Mg ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$; “ t_u ” é o ano da última avaliação (ano); “ t_0 ” é ano do início da avaliação; “ C_{tr} ” é o estoque de carbono em Mg ha^{-1} num determinado tratamento no anos t_u ou t_0 ; “ C_{TEST} ” é o estoque de C no tratamento DS0 em Mg ha^{-1} no ano “ t_u ” ($C_{\text{TRAT}t_u}$) ou “ t_0 ” ($C_{\text{trat}t_0}$); e “ C_{AS} ” e “ C_{DS} ” são os estoques de C no tratamentos AS e DS em Mg ha^{-1} , respectivamente, nos anos “ t_u ” ($C_{\text{DS}t_u}$) ou “ t_0 ” ($C_{\text{DS}t_0}$). O ano t_u correspondeu a 2010 e 2012 e o t_0 a 2001. As taxas reais foram calculadas em relação a um tempo de referência ou linha de base, no caso o ano de implantação, 2001. A taxa de fixação de C aparente (TFCa) é calculada com base nas diferenças de fixação de C em diferentes sistemas de produção em relação ao tempo. No presente trabalho se compararam os sistemas de adubação AS em relação aos demais tratamentos.

6.2.3 Cálculo do índice de manejo do carbono

O efeito dos tratamentos quanto a capacidade de armazenar carbono foi avaliado de forma relativa pelo cálculo do índice de manejo do carbono (IMC), representado pela fórmula: $\text{IMC} = \text{IEC} \times \text{IL} \times 100$, onde IEC representa índice de eficiência do carbono e IL o índice de labilidade, calculados pelas seguintes expressões: $\text{IEC} = \text{COT}_{\text{tratamento}} / \text{COT}_{\text{matanativa}}$ e $\text{IL} = \text{L}_{\text{tratamento}} / \text{L}_{\text{matanativa}}$. O termo L representa a labilidade da matéria orgânica representada pela fração COP (VIEIRA et al., 2007) no tratamento avaliado ($\text{L}_{\text{tratamento}}$) em relação à labilidade da matéria orgânica do sistema referência ($\text{L}_{\text{matanativa}}$).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F, considerando delineamento de blocos ao acaso, com avaliação do efeito dos tratamentos e comparação de

médias pelo teste Tukey ($P < 0,05$), o teste de médias para análise da TFCa foi realizada com o Dunnet ($P < 0,05$).

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Taxas anuais de fixação de C ao solo

As taxas anuais de fixação de C foram calculadas de acordo com os estoques de C dos anos de 2010 e 2012 (Tabela 16) em relação ao estoque de C no ano da implantação que apresentou um teor de 25 g kg⁻¹, equivalente a 61 Mg C ha⁻¹, na camada de 0 a 20 cm de profundidade.

Tabela 16. Média dos estoques de carbono orgânico total no solo nas camadas de 0 a 20 cm, no ano de 2010 e 2012, em um LV, submetido à aplicação anual de adubo solúvel (AS), adubo solúvel combinado a dejetos suíno (DS+AS) e doses crescentes de dejetos suíno em sistema de plantio direto.

Épocas	Tratamentos						CV	
	AS	DS+AS	DS0	DS25	DS50	DS100		DS200
	Estoque de C (Mg ha ⁻¹)							
2010	76 ab	80 ab	71 c	74 bc	77 ab	82 a	82 a	3,8
2012	70 bc	74 abc	59 d	68 c	76 ab	80 a	80 a	4,4

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas nas linhas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

As taxas de fixação de C reais (TFCr) anuais (Tabela 17) no décimo primeiro ano (2012) diminuíram em relação ao nono ano. Este comportamento pode ser atribuído às diferentes épocas das amostragens, em 2010 a amostragem foi realizada seguida ao dessecamento químico da cultura da aveia, enquanto em 2012 foi realizada após a colheita do milho, nas entrelinhas. Campos et al. (2011) observaram variação entre épocas de coleta durante o ano, atribuindo a maior presença de raízes de acordo com as culturas e épocas com maior umidade do solo. Por outro lado, esta variação negativa pode estar relacionada com uma possível saturação do solo por C, assim nos primeiros anos as taxas de fixação de C ao solo são maiores e decaem próximo do estado estacionário de fixação de C, onde o solo dá indícios de saturação e estas tendem a diminuir (WEST e SIX, 2007) e indica que as taxas são tanto maiores quanto mais distante do seu estado de saturação por C (HASSINK e WHITMORE, 1997).

As médias das taxas de fixação de C reais anuais observadas variaram de 0,21 a 2,04 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 17) na camada de 0 a 20 cm. Taxas similares a estas foram relatadas por

Nicoloso (2009), que em Chernossolo manejado em sistema de plantio direto, com adubação orgânica, obteve taxa real de 1,5 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, em camada de solo de 0 a 30 cm de profundidade, semelhante ao tratamento DS50 da presente pesquisa.

As maiores TFCr foram observadas nos tratamentos com doses de 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DS, a taxa foi de 2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, seguido dos tratamentos com adubação combinada (DS+AS) e 50. m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DS com 1,6 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 17). Estes dados foram resultado do efeito sinérgico do manejo em PD combinado a adição de C na forma de DS e permanência da biomassa das culturas de sucessão na superfície do solo, evidenciado pelo tratamento DS0 que, apesar da ausência total de adubação, teve incremento médio anual de 0,2 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹. Por outro lado, observou-se diferença de 0,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ entre os tratamentos DS50 e DS100, porém este último não diferiu do tratamento DS200 (Tabela 17). Este resultado pode ser um indício de saturação do solo por C, considerando-se que o volume de DS duplicou entre os tratamentos DS100 e DS200, que passou de 2,2 para 4,4 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ na superfície do solo, sem considerar a adição pela biomassa aérea e radicular das culturas (Apêndice A, B e C).

Tabela 17. Taxas de fixação de C real (TFCr) em Mg ha⁻¹ ano⁻¹, até 20 cm de profundidade, o ano 2001 foi utilizado como referência em relação aos anos 2010 e 2012 $TFCr = (C_{tr,t_u} - C_{tr,t_0}) / (t_u - t_0)$

Taxa de fixação de C real (TFCr) com base no tratamento AS			
Tratamentos	2010	2012	Média
	Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹		
AS	1,64 cd	0,77 cd	1,21 c
DS+DS	2,09 abc	1,18 bc	1,64 b
DS0	0,59 e	-0,17 e	0,21 d
DS25	1,39 d	0,66 d	1,03 c
DS50	1,81 bcd	1,39 ab	1,60 b
DS100	2,31 ab	1,75 a	2,02 a
DS200	2,34 a	1,74 a	2,04 a
DMS	0,50	0,45	0,35

Fonte: Produção do próprio autor

Médias seguidas por letras distintas nas colunas diferem pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A taxa de fixação de C aparente comumente é calculada para diferentes sistemas de produção, por exemplo, comparar a fixação de C de um sistema de PD em relação ao PC. Neste estudo compararam-se os tratamentos com doses crescentes de DS em relação ao tratamento com adubação exclusivamente de adubo solúvel, sob o mesmo sistema de produção em PD. Utilizaram-se como linha de base, os dados de COT do ano de implantação do experimento, o qual foi de 25 g kg⁻¹ de COT que representa um estoque médio de 61 Mg C ha⁻¹ na camada de 0-2 cm. O tratamento AS foi utilizado como referência para o cálculo da

taxa de fixação de C, já que foi conduzido de acordo com as práticas de adubação convencional na agricultura, utilizando adubo solúvel de acordo com as recomendações do manual de adubação e calagem (CQFS-RS/SC, 2004). Os resultados da TFCa dos tratamentos DS+AS, DS0, DS25, DS50, DS100 e DS200 em relação ao tratamento AS variaram em média de $-0,99 \pm 0,12$ a $0,83 \pm 0,25$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ (Tabela 18).

Tabela 18. Taxa de fixação de C aparente anual (Mg ha⁻¹ ano⁻¹) afetadas pelos tratamentos com DS, e adubação combinada DS+As, na profundidade de 0 a 20 cm, relativa ao tratamento com adubo solúvel (AS).
 $TFCa_t = (C_{DSt_u} - C_{ASt_u}) / (t_u - t_0)$

Taxa de fixação de C aparente (TFCa) com base no tratamento AS			
Tratamentos	2010	2012	média
----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----			
DS+AS	0,44 ± 0,36***	0,41 ± 0,27***	0,42 ± 0,26***
DS0	- 1,05 ± 0,1***	- 0,94 ± 0,19 ^{ns}	- 0,99 ± 0,12***
DS25	- 0,24 ± 0,42 ^{ns}	- 0,11 ± 0,27***	- 0,18 ± 0,20 ^{ns}
DS50	0,17 ± 0,28 ^{ns}	0,62 ± 0,46***	0,39 ± 0,18***
DS100	0,66 ± 0,46***	0,98 ± 0,37***	0,81 ± 0,29***
DS200	0,69 ± 0,17***	0,97 ± 0,39***	0,83 ± 0,25***
DMS	0,43	0,39	0,30

Fonte: Produção do próprio autor

DMS: diferença mínima significativa; *** significativo na coluna pelo teste de Dunnett (P<0.05). O valor após o símbolo ± representa o erro padrão (n=4).

Os tratamentos com as doses 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DS (Tabela x) apresentaram taxa 0,82 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, seguida pelos tratamentos DS+AS e DS50 com taxa de fixação de 0,41 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em relação ao AS e o tratamento DS0 teve taxa negativa de fixação de C em relação ao AS (Tabela 18), este representa o volume de C que deixou de ser fixado devido a ausência de adubação a qual geralmente resulta em maior quantidade de biomassa produzida e adicionada ao solo (Apêndice A, B e C). O tratamento DS25 não diferiu do AS e mostra que a aplicação de DS, mesmo em doses menores que a recomendada possui potencial para aumentar a fixação do C no solo. Nicoloso (2009) observou TFCa de 0,71 Mg C ha⁻¹ ano⁻¹ em Chernossolo sob adubação orgânica e em sistema de plantio direto em relação ao sistema convencional, considerando a camada de solo de 0-30 cm de profundidade. Importante lembrar que o sistema PD sozinho em relação ao sistema convencional (com revolvimento) tem um potencial de fixar em média $0,57 \pm 0,14$ Mg C ha⁻¹ ano⁻¹, esta estimativa foi resultado de ampla revisão com dezenas de estudos de longo prazo no mundo todo (WEST e POST, 2002).

6.3.2 Índice de manejo de carbono (IMC)

As melhorias na qualidade do solo alcançadas através de manejos conservacionistas e/ou adição de materiais orgânicos podem ser detectadas quando se avalia o índice de manejo de carbono (IMC), o qual considera o fator quantidade (IEC) e qualidade (IL) do C do solo. Estes índices permitem avaliar a dinâmica dos processos em relação à perda ou ao ganho, sendo que quanto maior o IMC, maior a qualidade do solo (BLAIR et al., 1995). (tabela 14).

Na Tabela 19 foram apresentados os índices dos tratamentos afetados manejo em sistema de PD com aplicação de DS, adubação combinada e adubo solúvel em relação ao solo de mata nativa próxima da área do experimento. O valor de IMC do tratamento que mais se aproximou da mata nativa foi o DS100 (35,5) seguido do DS200 (27,1) e DS+AS (26,7), os demais apresentaram valores menores que 25. O fator que mais contribuiu para os valores de IMC baixos foi a maior amplitude na diferença entre a labilidade do C da mata e da área cultivada. A labilidade do C da mata foi 1,5 a 3,5 vezes maiores que dos tratamentos (Tabela 19). Essa maior labilidade do C da mata se deve à maior acumulação de C na forma de COP, favorecidas por condições como: ausência total de manejo, tráfego de pessoas e máquinas, dessecaamentos, menor amplitude térmica diária, ausência de insolação direta, queda constante de folhas e ramos, crescimento maciço de raízes próximo a superfície do solo que dão ao solo da mata vantagem sobre o solo sob cultivo anual quanto à capacidade de estocar C orgânico na forma lábil. O índice de estoque de C (COT) nos tratamentos pode ser considerado relativamente alto (0,53 a 0,6), pois representa de 53 a 60 % do estoque encontrado na mata. Os estoques de CAM dos tratamentos representam em torno de 60 a 66 % da CAM da mata, sendo que na superfície do solo esta relação chega a 0,8 nos tratamentos DS50, DS100 e DS200, o que significa que os teores da fração não lábil (CAM) na área cultivada estão muito próximos dos teores da mata (Tabela 19). Solos de mata também possuem maior crescimento de raízes em profundidade, pois, segundo Kätterer et al. (2011), estas contribuem mais na estabilização de C em profundidade que a ciclagem da biomassa da parte aérea das plantas. Isso pode explicar em parte a menor capacidade do solo cultivado de fixar mais C, mesmo em doses de DS a partir de $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. A outra explicação pode estar relacionada a mudanças na relação C/N com a adição de altas doses de DS, que aumentam o crescimento das populações de microrganismos decompositores, dependendo do grau do efeito ativador (“priming”), e pode levar ao declínio nos teores de COT original (JENKINSON et al., 1985; AITA et al., 2007).

A possibilidade de saturação de CO no solo ocorre devido a esse meio ter sua capacidade limitada de fixar C não lábil, ao longo prazo, devido às suas características intrínsecas, como a textura e mineralogia, que são relacionadas à proteção química, a estabilidade de agregados, associada à proteção física, somadas à contribuição de processos biológicos (SIX et al., 2002). Esses autores sugeriram que as características físico-químicas inerentes aos solos definem a máxima capacidade de proteção da fração não lábil, o que limita a fixação do COT originado do aumento de aporte de resíduos orgânicos.

Tabela 19. Índice de eficiência de C (IEC), labilidade (L), índice de labilidade (IL) e índice de manejo do C (IMC) calculado para a camada de 0 a 20 cm, de um LV, submetido a tratamentos de doses crescentes de DS, adubo solúvel e adubo combinado, sob sistema de plantio direto durante 9 anos.

Tratamentos	IEC	L	IL	IMC
Mata	1,0 A	0,25A	1,0A	100 A
DS0	0,53 C	0,08C	0,32C	17 D
AS	0,56 BC	0,09 C	0,38C	21 CD
DS+AS	0,59 B	0,11 BC	0,45 BC	27 C
DS25	0,55 BC	0,09 C	0,37 C	21 CD
DS50	0,58 BC	0,10 C	0,39C	23 CD
DS100	0,60 B	0,15 B	0,60B	36 B
DS200	0,60 B	0,11 BC	0,45BC	27 C

Fonte: Produção do próprio autor

IEC: índice de estoque de carbono; L: labilidade; IL: índice de labilidade; IMC: índice de manejo do carbono.

$IEC = COT_{tratamento} / COT_{mata}$; $L = COP_{tratamento} / CAM_{tratamento}$; $IL = L_{tratamento} / L_{mata}$; $IMC = IEC \times IL \times 100$

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na coluna são iguais pelo teste t ($P < 0,05$).

6.4 CONCLUSÕES

1. As taxas de fixação de C real (TFCr) nos tratamentos com dose de 50 (DS50) e 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (DS100) foram de 1,6 e 2,0 Mg C ha⁻¹ ano, respectivamente.
2. As taxas de fixação de C aparente (TFCa) dos tratamentos com 50 (DS50) e 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (DS100) foram de 0,4 e 0,8 Mg C ha⁻¹ ano, respectivamente, em relação ao tratamento com adubo solúvel (AS).
3. O tratamento com dose 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ (DS200) não diferiu da dose 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ nas taxas de fixação de C real e aparente, indicando possível saturação por C do solo.
4. As taxas de fixação de C real dos tratamentos aumentaram com as doses de DS seguindo um modelo exponencial tendendo a um valor máximo dentro da faixa de 1,6 a 2,0 Mg C ha⁻¹ ano e que corresponde a dose na faixa de 50 a 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.
5. O tratamento com a dose de 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ apresentou o maior índice de labilidade e consequentemente o melhor IMC, com base no estoque de COP.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os dados obtidos neste estudo é possível considerar que os estoques de COS em LV sob plantio direto tratado com DS aumenta quando são aplicadas doses de 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e ocorreu principalmente na camada superficial até 5 cm. O DS na dose 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, limite legal de aplicação anual para o estado de santa Catarina, não diferiu estatisticamente do tratamento com adubo solúvel. Os aumentos no C fixado no solo, possivelmente resultaram da maior produção de fitomassa, que ocorre com doses em torno de 100 m³ ha⁻¹ ano⁻¹.

As diferenças nos estoques de C dos tratamentos com menores volumes de adubo em relação aos maiores evidenciaram a capacidade desse solo em fixar mais C, porém, observa-se que aparentemente o solo se mostra saturado nas camadas superficiais nas doses maiores, onde os estoques da fração CAM do tratamento com 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ não diferiu do tratamento com 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ e somado a isso, o teor de C nos agregados maiores que 2 mm aumenta até a dose de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de DS, nas doses de 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ o teor se mantém constante, evidenciando possível limitação para fixar quantidades maiores de C aplicados via DS e biomassa das culturas, o que pode representar a possível saturação desse solo por C, em agregados grandes. Estudos de longo prazo são importantes para analisar a fixação nas frações de carbono mais estabilizado.

Algumas razões para as baixas taxas de fixação C no solo com as doses de DS utilizadas no experimento podem estar relacionadas com: a) DS no geral possui concentrações baixas de C orgânico, em torno de 20 kg m³, assim sendo, a aplicação de 50 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ é insuficiente para aumentar os estoques de C, considerando que nesta dose a adição é em torno de 1 Mg ha⁻¹; b) A baixa relação C/N do DS contribui para aumentar as taxas de decomposição/mineralização de material orgânico remanescente quando aplicado na superfície do solo.

Para estes problemas, a compostagem em regiões que dispõem de materiais com alta relação C/N, constitui uma técnica que permite a estabilização parcial da matéria orgânica em ambiente controlado, resultando em material orgânico de alta qualidade para adição ao solo.

Outras considerações cabíveis estão relacionadas com o modo de aplicação do DS, a técnica de injeção do DS ao solo pode ser interessante em sistemas conduzidos sob plantio direto porque diminui o contato do DS com o material orgânico superficial, permitindo maior tempo de residência do material orgânico no solo.

Os avanços tecnológicos nas variedades cultivadas permitem atualmente maior produtividade e exigem assim adubação mais intensa. Nesta perspectiva, os limites legais fixados em $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ podem estar sub-dimensionados para as necessidades nutricionais das culturas. O manejo da aplicação do DS, por exemplo, aplicação parcelada, pode definir formas diferentes de utilização dos nutrientes de acordo com a demanda no ciclo das culturas e diminuir perdas de NO_3 e P_2O_5 por erosão. Nesta perspectiva, o volume adicionado ao solo poderia ser maior, aumentando a produtividade e diminuindo as perdas de nutrientes sem, no entanto, comprometer a qualidade do meio ambiente.

Desta forma, as pesquisas nesta área devem se propositivas no sentido técnico, de possibilitar: altas produtividades, recuperação da fertilidade do solo e mitigação dos impactos ambientais; e no sentido político, de mudar a legislação atual, que limita o uso em $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para o uso dos resíduos de animais de acordo com recomendação técnica qualificada e com base na concentração dos nutrientes no dejetos, nas características do solo e das exigências das culturas.

REFERÊNCIAS

- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I.C.; GIACOMINI, S.J.; HÜBNER, A.P.; MARQUES, M.G. Decomposição de palha de aveia-preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, p.149-161, 2006.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42:95-102, 2007.
- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Matéria orgânica do solo, nitrogênio e enxofre nos diversos sistemas de exploração agrícola. In: SIMPÓSIO SOBRE NITROGÊNIO E ENXOFRE NA AGRICULTURA BRASILEIRA, Piracicaba, 2007. **Anais**. Piracicaba, IPNI Brasil, 2007. 722p.
- ALBUQUERQUE, J. A.; BAYER, C.; ERNANI, P. R. e FONTANA, E. C. Propriedades físicas e eletroquímicas de um Latossolo Bruno afetadas pela calagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:295-300, 2000.
- ALBUQUERQUE, J.A.; ARGENTON, J; BAYER, C.; WILDNER, L. P. & KUNTZE, M. A. G. Relação de atributos do solo com a agregação de um Latossolo vermelho sob sistemas de preparo e plantas de verão para cobertura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.415-424, 2005.
- ALLAWAY, W.G.; ASHFORD, A.E. Structure of the hair roots in *Lysinema ciliatum* R. Br. and its implications for their water relations. **Annals of Botany** 77: 383-388. 1996.
- ALMEIDA, J. A.; TORRENT, J.; BARRÓN, V. Cor de solo, formas do fósforo e adsorção de fosfato em Latossolos desenvolvidos de Basalto do extremo-sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 27:985-1002, 2003
- ALTIERI, M. **Agroecologia: as bases científicas da agricultura alternativa**. Rio de Janeiro: PTA/FASE, 1989
- ALVES, B. J. R.; URQUIAGA, S.; JANTALIA, A. P.; BODDEY, R. M.. **Dinâmica de Carbono em Solos Sob Pastagens**. In: Santos, G. de A.; Camargo, F. A. de. O.; Da Silva, L. S.; Canellas, L. P. 2008. Fundamentos da Matéria Orgânica do Solo. 2008. 654p.
- AMADO, T.J.C., BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.C.; VEIGA, M. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal Environmental Quality** v.35 p.1599-1607. 2006.
- ANUALPEC, 2009. **Anuário da Pecuária Brasileira**, São Paulo: Argos, 2009. 370p.
- ASSESSORIA DE GESTÃO ESTRATÉGICA - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (AGE/MAPA), **Projeções do Agronegócio** : Brasil 2009/2010 a 2019/2020 – Brasília, 2ª edição. Ano 2010, 76p. Disponível no site. <<http://www.agricultura.gov.br>>no dia 02/02/2012.

ASSIS, C.P.; JUCKSCH, I.; MENDONCA, E.S.; NEVES, J.C.L. Carbono e nitrogênio em agregados de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, p.1541-1550, 2006.

Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína - ABIPECS BRASIL – PRODUÇÃO, Produção Brasileira de Carne Suína 2004 a 2011. Acesso no dia 20.02.2013 <http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mercado-interno.html>.

BALESDENT, J. & BALABANE, M. Maize root-derived soil organic carbon estimated by natural ^{13}C abundance. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 24, p. 97-101, 1992.

_____. Major contribution of roots to soil carbon storage inferred from maize cultivated soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 28, p. 1261-1263, 1996.

BALESDENT, J.; MARIOT, A. & GUILLET, B. Natural ^{13}C abundance as a tracer for soil organic matter dynamics studies. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, p. 25-30. 1990.

BALESDENT, J.; WAGNER; G.H.; MARIOTTI, A. Soil organic matter turnover in long-term field experiments as revealed by carbon-13 natural abundance, **Soil Science Society American Journal**, 52: 118–124. 1988.

BANGER, K; TOOR, G.S.; BISWAS, A.; SIDHU, S.S.; SUDHIR, K. soil organic carbon fraction after 16-years of applications os fertilizer and organic manure in a Typic Rhodalfs in semi-arid tropics. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 86 p. 391-399. 2010.

BARBER, S. A. Corn residue management and soil organic matter. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 625–627. 1979.

BARILLI, J. Atributos de um Latossolo Vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Botucatu, 120p. Tese (Tese Doutorado) Faculdade de Ciências Agrônômicas UNESP. 2005.

BASSO, C.J.; CERETTA, C.A. Manejo do nitrogênio no milho em sucessão a plantas de cobertura de solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v.24, n.4, p. 905-915, 2000.

BAYER, C.; LOVATO, T.; DIECKOW, J.; ZANATTA, J.A. & MIELNICZUK, J. A method for estimating coefficients of soil organic matter dynamics based on long-term experiments. **Soil Tillage Ressearch**, 91:217-226, 2006.

BAYER, C., BERTOL, I. Características químicas de um Cambissolo Húmico afetadas por sistemas de preparo, com ênfase à matéria orgânica. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 23, p.687-694, 1999.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J. & CERETTA, C.A. Effect of no-till cropping systems on soil organic matter in sandy clay loam Acrisol from southern Brazil monitored by electron spin resonance and nuclear magnetic resonance. **Soil Tillage Research Journal**, v.53, p. 95–104, 2000.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PAVINATO, A. Armazenamento de carbono em frações lábeis da matéria orgânica de um Latossolo Vermelho sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.7, p.677-683, 2004.

BAYER, C.; MARTIN-NETO, L.; MIELNICZUK, J.; PILLON, C. N. & SANGOI, L. Changes in soil organic matter fractions under subtropical No-Till cropping systems. **Soil Science Society of American Journal**, v. 65, p. 1473-1478. 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Características químicas do solo afetadas por métodos de preparo e sistemas de cultura. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p.105-112, 1997.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. **Potencial de acúmulo de matéria orgânica em sistemas conservacionistas de manejo na região Sul do Brasil**. In: Simpósio Rotação Soja/Milho No Plantio Direto, Piracicaba, 03 a 06 de julho, 2000b. **Anais...** Piracicaba: POTAFOS. (CD-Rom)

BAYER, C.; SPAGNOLLO, E.; WILDNER, L. do P.; ERNANI, P. R.; ALBURQUEQUE, J. A. Incremento de carbono e nitrogênio num Latossolo pelo uso de plantas estivais para cobertura do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 3, jun. 2003 .

BENITES, V.M.; CORREA, J.C.; MENEZES, J.F.S.; POLIDORO, J.C; CAMPOS, D.V.B. Production of granulated organomineral fertilizer from pig slurry and poultry litter in Brazil. Congress, Anais, 15th World Fertilizer Congress of the International Scientific Centre For Fertilizers (Ciec), 2010.

BERTO, J.L. Balanço de nutrientes em uma sub-bacia com concentração de suínos e aves como instrumento de gestão ambiental. **Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental)** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004. 196 p.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER. S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. – perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1045-1054, 2004.

BLAIR, G. J.; LEFROY, R.D.B.; LISLE, L. Soil Carbon Fractions Based on their Degree of Oxidation, and the Development of a Carbon Management Index for Agricultural Systems **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 46, p. 1459-66.1995.

BUYANOVSKY, G.A., ASLAM, M., WAGNER, G.H., Carbon turnover in soil physical fractions. **Soil Science Society of America Journal**, v.58, p. 1167–1173. 1994.

CALEGARI, A. **Plantas de cobertura**, p. 55-73. In: CASÃO, J.R.; SIQUEIRA, R.; MEHTA, Y.R.; PASSINI, J.J. (eds.) “Sistema Plantio direto com qualidade”. Londrina: IAPAR; Foz do Iguaçu: ITAIPU Binacional. 2006.

CAMBARDELLA, C.A.; ELLIOT, E.T. Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 1071-1076. 1993.

_____. Particulate soil organic-matter changes across a grassland cultivation sequence. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56. p.777-783. 1992.

CAMPBELL, C.A.; BOWREN, K.E.; SCHNITZER, M.; ZENTNER, R. P.; TOWNLEY-SMITH, L. Effect of crop rotations and fertilization on soil biochemical properties in a thick Black Chernozem. **Canadian Journal Soil Science**, v.71, p. 377–387. 1991.

CAMPOS, L. P.; LEITE, L.F.C.; MACIEL, G.A.; IWATA, B.F.; NÓBREGA, A.J.C. Atributos químicos de um Latossolo Amarelo sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.12. 2011.

CAPRA, F. **A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos**. São Paulo, SP: Cultrix, 1996.

CASSOL, P. C.; COSTA, A. C.; CIPRANDI, O.; PANDOLFO, C. M.; ERNANI, P. R. Disponibilidade de macronutrientes e rendimento de milho em Latossolo fertilizado com dejetos suíno. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, p. 1911-1923, 2012.

CASSOL, P.C.; SILVA, D.C.P. da; ERNANI, P. R.; KLAUBERG FILHO, O.; LUCRÉCIO, W. Atributos químicos em Latossolo Vermelho fertilizado com dejetos suíno e adubo solúvel. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 10, n. 2, p. 103-112, 2011

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. Resumos... Ribeirão Preto, UNESP/ SBCS, 2003. CD-Rom.

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

CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, E. E.; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.6, p.1287-1295, 2005.

CERETTA, C.A.;BASSO, C.J.; HERBES, M.H.; NARACELIS POLETTO, N.; SILVEIRA, M.J. da. Produção e decomposição de fitomassa de plantas invernais de cobertura de solo e milho, sob diferentes manejos da adubação nitrogenada. **Ciência Rural** .v. 32, n. 1. 2002.

CERRI, C. C. Dinâmica da material orgânica do solo no agrossistema cana-de-açúcar. Piracicaba, Universidade de São Paulo, 1986. 197 p. (**Tese de livre docência**)

CERRI, C.C.; VOLKOFF, B. Matéria orgânica de três solos dos campos inundáveis da ilha de Marajó. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 12, p. 93-100, 1988.

CHANTIGNY, M. H; ROCHETTE, P.; ANGERS; D. A. Short-term C in the cumulative NH₃-N losses were not statistically and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: A field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, p. 131-137, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **European Journal Soil Science**, v. 52, p. 345-353, 2001.

_____ Physical fractionation of soil and organic matter in primary particle size and density separates. **Advances in Soil Science**, New York, v. 20, p. 1-90. 1992.

COLLINS, H.P.; ELLIOTT, L.F.; PAPENDICK, R.I. Wheat straw decomposition and changes in decomposability during field exposure. **Soil Science Society of America Journal** v. 54, p.1013–1016. 1990.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 357**, de 17 de março de 2005.

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, p. 777-788, 2005.

CONTEH A., BLAIR G. J. The distribution and relative losses of soil organic carbon fractions in aggregate size fractions from cracking clay soils (Vertisols) under cotton production. **Australian Journal of Soil Research**, v.36, p. 257–272. 1998.

CORRÊA, J.C.; BENITES, V. de M.; REBELLATTO, A. O USO DOS RESÍDUOS ANIMAIS COMO FERTILIZANTES II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA15 a 17 de março de 2011 - Foz do Iguaçu, PR. 2011.

CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review, **Journal of Environmental Quality**, v. 27 p.261-266, 1998.

COSTA, A. C. da. Rendimento de milho, atributos químicos e formas do fósforo no solo após nove aplicações anuais de dejetos suíno. 2011. 85f. **Dissertação** (Mestrado) – Centro de Ciências Agroveterinárias / UDESC. 2011.

COSTA, S.E.V.G.A.; SOUZA, E.D.; ANGHINONI, I.; FLORES, J.P.C.; CAO, E.G.; HOLZCHUH, M.J. Phosphorus and root distribution and corn growth under long-term tillage systems and fertilizer placement. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33: n. 5 Viçosa Sept./Oct. 2009.

DAROLT, M.R. As dimensões da sustentabilidade: Um estudo da agricultura orgânica na região metropolitana de Curitiba-PR. Curitiba, 2000. **Tese** de Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento, Universidade Federal do Paraná/ParisVII. 310 p. 2000.

DENARDIN, J. E.; KOCHHANN, R. A. Desafios à caracterização de solo fértil em manejo e conservação do solo e da água. **Revista Plantio Direto**, edição 98, março/abril de 2007.

DENEF, K.; ZOTARELLIA, L.; BODDEYD, R. M.; SIXA, J. Microaggregate-associated carbon as a diagnostic fraction for management-induced changes in soil organic carbon in two Oxisols *Soil Biology and Biochemistry* v. 39, p. 1165–1172. May 2007,

DIECKOW, J.; SANTOS, N. dos S.; BAYER, C.; MOLIN, R.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V. No-tillage crop rotations, C sequestration and aspects of C saturation in a subtropical Ferralsol. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia. 1 – 6 August 2010, Published on DVD.

DIEKOW, J.; MIELNICZUK, J.; KNICKER, H.; BAYER, C.; DICK, D.P. & KÖGEL-KNABNER, I. Soil C and N stocks as affected by cropping systems and nitrogen fertilization in a Southern Brazil Acrisol managed under no-tillage for 17 years. **Soil Tillage Research**, v. 81, p. 87-95, 2005.

DORAN, J.W. & PARKIN, T.B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J.W.; COLEMAN, D.C.; BEZDICEK, D.F.; STEWART, B.A., eds. Defining soil quality for a sustainable environment. Madison, **Soil Science Society of America Special Publication**, n. 35, p.1-20. 1994.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

FABRIZZI, K.P.; RICE, C.W.; AMADO, T.J.C.; FIORIN, J.; BARBAGELATA, P. & MELCHIORI, R. Protection of soil organic C and N in temperate and tropical soils: Effect of native and agroecosystems. **Biogeochemistry**, v.92 p.129-143, 2009.

FAO - **Food and Agriculture Organization of the United Nation**. Disponível no site. <http://www.fao.org/corp/statistics/en/>, acesso em 20 de janeiro de 2010.

FRANZLUEBBERS, A J.; HONS, F. M.; ZUBERE, D. A. Season a changes in soil microbial biomass and mineralizable C and N in wheat management systems. *Soil Biol. Biochem.* V.26, p.1469–1475. 1994.

FRANZLUEBBERS, A.J.; STUEDEMANN, J.A.; WILKINSON, S.R. Bermudagrass management in the Southern Piedmont USA. I. Soil and residue carbon and sulfur. *Soil Science Society of America Journal* 65(3):834-841. 2001.

FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE DE SANTA CATARINA -FATMA. Instrução normativa para licenciamento ambiental. FATMA: Instrução normativa nº 11, de 13/12/2004. Disponível em:<<http://www.fatma.sc.gov.br>>. Acesso em: 10 de janeiro. de 2013.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL HENRIQUE LUIS ROESSLER-RS – FEPAM. Critérios técnicos para o licenciamento ambiental de novos empreendimentos destinados à suinocultura. FEPAM: Norma técnica, de 06/04/2004. Disponível em: <<http://www.fepam.rs.gov.br>>. Acesso em: 15 jan.de 2012.

GALE, W. J.; CAMBARDELLA, C.A.; BAILEY, T.B., Root-derived carbon and the formation and stabilization of aggregates. *Soil Science Society of America Journal* v.64, p.201-207. 2000.

GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A.; BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos de suíno em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1753-1761, 2008.

GIACOMINI, S. J.; AITA, C. Emissão de dióxido de carbono após aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 1, 2008.

GOLCHIN, A.; OADES, J.M.; SKJEMSTAD, J.O.; CLARKE, P. Soil structure and carbon cycling. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v.32, p.1043-1068. 1994.

GONÇALVES, C.N.; CERETTA, C.A. Plantas de cobertura de solo antecedendo o milho e seu efeito sobre o carbono orgânico do solo, sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, p. 307-313, 1999.

GREGORICH, E.G.; JANZEN, H.H. Storage of carbon in the light fraction and macroorganic matter, In CARTER, M.R.; STEWARD, B.A. ed. *Structure and Soil Organic Matter Storage in agricultural soils*. CRC press, Boca Raton, FL. p. 167-190. 1996.

HARTWIG, N.L.; AMMON, H.U. Cover crops and living mulches. **Weed Science** 50, november–December, 2002.

HASSINK, J. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. **Plant and Soil**, v. 191, p. 77–87. 1997

HASSINK, J.; WHITMORE, A.P. A model of the physical protection of organic matter in soils. **Soil Science Society American Journal**, v. 61, p. 131-139, 1997.

HATI, K.K.; SWARUP, A.; DWIVEDI, A.K. Changes in soil physical properties and organic carbon status at the topsoil horizon of a Vertisol of central India after 28 years of continuous cropping, fertilization and manuring. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 119, p. 127–134. 2007.

HOOKE, M.L.; HERRON, G.M.; PENAS, P. Effects of residue burning, removal and incorporation on irrigated cereal crop yields and soil chemical properties. **Soil Science Society American Journal** v. 46, p. 122–126. 1982

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D.L. & LEFKOWITZ, D.S. Changes in the landscape of Latin America between 1850 and 1985. II Net release of CO₂ to the atmosphere. **Forest Ecological Management**, v.38 p. 173-199, 1991.

HUGGINS, D.R.; J.P. REGANOLD. No-till: The quiet revolution. **Scientific American** 299 (July): 70-77. 2008.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível no site.<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=2241&id_pagina=1>, acesso em 20de janeiro de 2013.

IPCC, *Climate Change 2007: Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Summary for Policy Makers*. Inter-Governmental Panel on Climate Change. 2007.

IPCC. *Intergovernmental Panel on Climate Change. Climate change the scientific basis*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001. 881p. 2001:

JENKINSON. D. S., FOX, R. L. e RAYNER, J. H. Interactions between fertilizer nitrogen and soil nitrogen - the so-called priming effect. **Journal Soil Science**.v. 36, p. 425. 1985

JOHN, B.; YAMASHITA, T.; LUDWIG, B. & FLESSA, H. Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. **Geoderma**, v. 128 p. 63-79, 2005.

KÄTTERER T.; BOLINDER, M.A.; ANDRÉN, O.; KIRCHMANN, H.; MENICHETTI, L. Roots contribute more to refractory soil organic matter than above-ground crop residues, as revealed by a long-term field experiment. **Agriculture Ecosystems and Environment**, v.141 p. 184–192. 2011.

KEMPER, W. D.; CHEPIL, W. S. Size distribution of aggregation. In: BLACK, C. A. **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society Agronomy**, p. 499-510, 1965. (Agronomy Monograph, 9).

KEMPER, W.D. Aggregate stability. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison, **American Society of Agronomy**, p.511-519. 1965.

KIEHL, J.E. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KONZEN, E. A. Fertilização de Lavoura e Pastagem com Dejetos de Suínos e Cama de Aves EMBRAPA, Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica 31,,p. 65, 2004.

_____. Avaliação quantitativa e qualitativa dos dejetos de suínos em crescimento e terminação, manejados em forma líquida. Belo Horizonte: UFMG, 1980. 56 p. **Tese de mestrado**. 1980.

KUNZ, A., NOGUEIRA, A.R. de A., BIZZO, H., SIMEONE, M.L.F. Estratégia para implementação de um programa de Gerenciamento de Resíduos Químicos de Laboratório na Embrapa, 2004. 35 p. (Embrapa Suínos e Aves, Série Documentos, 90). 2004.

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Caderno de Ciência e Tecnologia**, v. 22, n. 3, p. 652-665, 2005.

KUZYAKOV, Y. Priming effects: Interactions between living and dead organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 42, p. 1363-1371, 2010.

KUZYAKOV, Y.; FRIEDEL, J. K.; STAHR, K. Review of mechanisms and quantification of priming effects. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 32, p. 1485-1498, 2000.

LAL, R. & BRUCE, J.P. The potential of world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environmental Science and Policy**, v. 2: p. 177-185. 1999.

LAL, R. Agricultural activities and the global carbon cycle. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 70, p. 103-116. 2004.

_____. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. **Science**, 304, p. 1623-1627. 2004.

LOSS, A.; PEREIRA, M.G.; SCHULTZ, N.; ANJOS, L.H.C. & SILVA, E.M.R. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**, v. 39 p.1067-1072, 2009.

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

MACHADO, R.B.; RAMOS NETO, M.B.; PEREIRA, P.G.P.; CALDAS, E.F.; GONÇALVES, D.A.; SANTOS, N.S.; TABOR, K. & STEININGER, M. Estimativa de perda de área no Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado. Brasília, Conservação Internacional, 2004.

Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo-Núcleo Regional Sul, 394p. 2004.

MARY, B.; RECOUS, S.; DARWIS, D. & ROBIN, D. Interactions between decomposition of plant residues and nitrogen cycling in soil. **Plant and Soil**, v. 181, p.71-82, 1996.

MIKHA, M. M.; RICE, C.W. Tillage and manure effects on soil and aggregate associated carbon and nitrogen. **Soil Science Society of America Journal** v. 68 p. 809-816. 2004

MIKHA, M.M.; RICE, C.W.; BENJAMIN, J.G. Estimating soil mineralizable Nitrogen under different management practices. **Soil Science Society of America Journal**. v. 70, p. 1522-1531. 2006.

MOLINA, J.A.E., CLAPP, C.E.; LINDEN, D.R.; ALLMARAS, R.R.; LAYESE, M.F. DOWDY, R.H.; CHENG, H.H. Modeling incorporation of corn (*Zea mays* L.) carbon from roots and rhizodeposition into soil organic matter. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 33, p. 83-92. 2001.

MOLLISON, B; SLAY, R. M. Introdução à Permacultura; Brasília:MA/SDR/PNFC, 217f. 1998.

MOREIRA, F.M.S. & SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2002. 625p.

NICOLOSO, R.S. Dinâmica da matéria orgânica do solo em áreas de integração lavoura-pecuária sob sistema de plantio direto. 2005. 150p. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria. 2005. 150p.

_____. Mecanismo de estabilização do carbono orgânico do solo em agroecossistemas de clima temperado e sub-tropical. Santa Maria. Universidade Federal de Santa Maria. **Tese de doutorado**. 2009. 108p.

NIEDER, R.; BENBI, D.K., Bidirectional Biosphere-Atmosphere Interactions. Carbon and Nitrogen in the Terrestrial Environment. **Springer Science Business Media**, p. 235-305. 2008.

NIEROP, K. G. J. Origin of aliphatic compounds in a forest soil. 1998.

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

OLIVEIRA, P. A.V. de. (Coord.). Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, (EMBRAPA CNPSA. Documento, 27). 188 p. 1993.

_____. Sistema de produção de suínos em cama sobreposta “deep bedding”. 9 SEMINÁRIO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA. **Anais...**, p. 44-55. Gramados, RS, 2001.

PANDOLFO, C.M; CERETTA, C.A. Aspectos econômicos do uso de fontes orgânicas de nutrientes associadas a sistemas de preparo do solo. **Ciência Rural**, v. 38, p. 1572-1580, 2008.

PAUL, M.; PELLNY, T.; GODDIJN, O. Enhancing photosynthesis with sugar signals. **Trends in Plant Science**. V. 6, p.197–200. 2001.

PERDOMO, C.C; OLIVEIRA, P.A.; KUNZ, A. Sistemas de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 2003. 83 p. (Documentos, 85).

PRAKASH, V.; KUNDU, S.; GHOSH, B.N.; SINGH R.D.; GUPTA, H.S. Annual carbon input to soil through rainfed soybean (*Glycine max*)-wheat (*Triticum aestivum*) cropping sequence in mid-hills of Northwest Himalaya. **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.72, p.14-17, 2002.

PUGET, P.; CHENU, C.; BALESSENT, J. Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. **European Journal of Soil Science**, v.46, p.449-459, 1995.

RASMUSSEN, P.E., COLLINS, H.P. Long-term impacts of tillage, fertilizer and crop residue on soil organic matter in temperate semi-arid regions. **Advances in Agronomy**. 45, 1991.

RASMUSSEN, P.E.; ALLMARAS, R.R.; ROHDE, C.R., ROAGER, Jr. N.C. Crop residue influences on soil carbon and nitrogen in awheat–fallow system. **Soil Science Society American Journal**, v.44, p. 596–600. 1980.

RASSE, D.P.; RUMPEL, C.; DIGNAC, M.-F., Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization. **Plant and Soil** v. 269, p. 341–356. 2005.

REED, D.; RICE, C.W. Soil carbon sequestration and greenhouse gas mitigation: a role for American agriculture. Kansas State University. Agronomy Department, 35 p. 2007.

REICOSKY, D. C.; EVANS, S.D.; CAMBARDELLA, C.A.; ALLMARAS, R.R.; WILTS, A.R.; HUGGINS, D.R. Continuous corn with mold board tillage: Residue and fertility effects on soil carbon. **Journal Soil Water Conservation**. 57, 277–284. 2002.

RESCK, D.V.S.; FERREIRA, E.A.B.; FIGUEIREDO, C.C. e ZINN, Y.L. Dinâmica da matéria orgânica no Cerrado. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. e CAMARGO, F.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, p.359-417, 2008.

RISSE, L.M.; CABREREA, M.L.; FRANZLUEBBERS, A.J.; GASKIN, J.W.; GILLEY, R. KILLORN, J.E.; RADCLIFFE, D.E.; TOLLNER, W.E.; ZHANG, H. “Land Application of Manure for Beneficial Reuse”. **National Center for Manure and Animal Waste Management white paper**. 2001.

RUSSELL, R.S. Plant root systems: Their function and interaction with the soil. McGraw-Hill, London. 1977.

SÁ, J.C.M.; CERRI, C.C.; DICK, W.A.; LAL, R.; VENSKE FILHO, S.P.; PICCOLO, M.C.; FEIGL, B.E. Organic matter dynamics and carbon sequestration rates for a tillage

chronosequence in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society American Journal** v. 65, p. 1486-1499. 2001.

SALTON, J. C. Matéria orgânica e agregação do solo na rotação lavoura-pastagem em ambiente tropical. 2005.– Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, (**Tese de Doutorado**), 158 p. 2005.

SANTOS, G.A.; CAMARGO, F.A.O. **Fundamentos da matéria orgânica do solo. Ecossistemas tropicais e subtropicais.** Porto Alegre: Genesis, 491p. 1999.

SAVIOZZI, A.; LEVI-MINZI, R.; RIFFALDI, R. & VANNI, G. Role of chemical constituents of wheat straw and pig slurry on their decomposition in soil. **Biological Fertility in Soils**, v. 25, p. 401-406, 1997.

SCHERER, E. E. Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante. Embrapa Suínos e Aves. Curso de Capacitação em Práticas Ambientais Sustentáveis. 112p. 2002. Acessado no dia 27.11.2012 <http://www.cnpso.embrapa.br/pnma/pdf_doc/Paginas-Iniciais.pdf>

_____. Nutrientes no esterco de suínos: diagnose e uso na adubação. **Agropecuária Catarinense**, Florianópolis, v. 10, p. 48-50, 1997.

SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, Viçosa, v. 31 p.123-131. 2007.

SCHICK, J.; BERTOL, I.; BATISTELA, O.; BALBINOT JUNIOR, A.A. Erosão hídrica em Cambissolo Húmico Alumínico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo do solo: I - Perdas de solo e água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 24:427-436, 2000.

SEGANFREDO, M.A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? Cadernos de Ciência e Tecnologia. Brasília: EMBRAPA, p.129-137. 1999.

_____. Análise dos riscos de poluição do ambiente, quando se usa dejetos de suíno como adubo do solo. Concórdia – SC. EMBRAPA – CNPSA, 2000. (Comunicando Técnico).

SILVA, I.R.; MENDONÇA, E.S. **Matéria orgânica do solo.** In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. Fertilidade do solo. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 275-374, 2007.

SISTI, C.P.J.; SANTOS, H.P.; KOHHANN, R.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S. & BODDEY, R.M. Change in carbon and nitrogen stocks in soil under 13 years of conventional or zero tillage in Southern Brazil. **Soil Tillage Research Journal**, v. 76, p. 39-58, 2004.

SIX, J., PAUSTIAN, K., ELLIOTT, E.T., COMBRINK, C., Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate size classes and aggregate associated carbon. **Soil Science Society of America Journal**, v.64, p. 681-689. 2000.

SIX, J.; CONANT, R.T.; PAUL, E.A.; PAUSTIAN, K. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. **Plant and Soil**, v. 241, p. 155–176, 2002.

SIX, J.; ELLIOTT, E.T.; PAUSTIAN, K.; DORAN, J.W., Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1367-1377. 1998.

SMITH, P.; SMITH, J.U.; POWLSON, D.S.; MCGILL, W.B. ARAH, J.R.M.; CHERTOV, O.G.; COLEMAN, K.; FRANKO, U.; FROLKING, S.; JENKINSON, D.S.; JENSEN, L.S.; KELLY, R.H.; KLEIN-GUNNEWIEK, H.; KOMAROV, A.S.; LI, C.; MOLINA, J.A.E.; MUELLER, T.; PARTON, W.J.; THORNLEY, J.H.M.; WHITMORE, A.P.. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. **Geoderma** v.81 p. 153-225. 1997.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 3.ed. Passo Fundo, 1995. 223p.

SOLBERG, E. D.; NYBORG, M.; IZAURRALDE, R. C.; MALHI, S. S.; JANZEN, H. H.; MOLINA-AYALA, M. Carbon Storage in soils under continuous, cereal grain cropping: N fertilizer and straw. In Management of Carbon Sequestration in Soil. Eds. LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B. A. p. 235–254. 1997.

STEVENSON, F.J. Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2.ed. New York. John Wiley & Sons, 1994. 496p.

SUN, B.; HALLETT, P.D.; CAUL, S.; DANIELL, T.J. e HOPKINS, D.W. Distribution of soil carbon and microbial biomass in arable soils under different tillage regimes. **Plant and Soil**. Springer Netherlands. v. 338, p. 17-25. 2010

SWIFT, M.J., HEAL, O.W.; ANDERSON, J.M. Decomposition in Terrestrial Ecosystems. Vol. 5, University of California Press, Berkeley, p: 167-219. 1979.

SWINNEN, J.; VAN VEEN, J.A.; MERCKX, R. Rhizosphere carbon fluxes in field-grown spring wheat: Model calculations based on ¹⁴C partitioning after pulse-labelling, **Soil Biology and Biochemistry**, v. 26, February, 1994.

TEDESCO, M. J.; VOLKWEISS, S. J.; BOHNEN, H.; GIANELLO, C. & BISSANI, C. A. Análises de solos, plantas e outros materiais. 2ª Ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, (Boletim Técnico de Solos, 5), 215p., 1995.

TISDALL J.M.; OADES J.M. Stabilisation of soil aggregates by root systems of ryegrass. **Australian journal of soil research**, 17, 429-441. 1979.

_____. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

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

VEIGA, M. DA; PANDOLFO, C. M.; DORTZBACH, D.; ARAUJO, I. S. Atributos físicos do solo em glebas com aplicação continuada de dejetos líquidos de suínos **Revista Agropecuária Catarinense**, v.25, n.2, 2012

VIEIRA, P.F.; WEBER, J. Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: Novos desafios para a pesquisa ambiental. São Paulo: Cortez, 1997. 500p

WAISEL, Y.; ESHEL, A.; KAFKAFI, U. (Ed.). Plant roots: the hidden half. New York: M. Dekker, 2002. 1120 p.

WEIL, R.R.; KROONTJE, W. Physical condition of a Davidson clay loam after five years of heavy poultry manure applications. **Journal Environmental Quality**., v. 8. P. 387-392, 1979.

WEST, T.O.; POST, W.M. Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: A global data analysis. **Soil Science American Journal** V.66 p. 1930-1946. 2002.

WEST, T.O.; SIX, J. Considering the influence of sequestration on carbon saturation estimates of soil carbon capacity. **Climate Change**. v. 8 p. 25-41. 2007.

YANG, C.M., YANG, L.Z., ZHU, O.Y. Organic carbon and its fractions in paddy soil as effected by different nutrient and water regimes. **Geoderma**, v. 124, p. 133–142. 2005.

ZOTARELLI. L.; ALVES, B.J.R.; URQUIAGA, S.; TORRES, E.; SANTOS, H.P.; PAUSTIAN, K.; BODDEY, R.M.; SIX, J. Impact of tillage and crop rotation on aggregate-associated carbon in two Oxisols. **Soil Science American Journal**, v. 69, p. 482-491, 2005.

APÊNDICE A

Tabela 1. Valores da massa seca (MS) e carbono orgânico (CO) da parte aérea (PA) e raízes das culturas de milho e aveia preta, que permaneceram na superfície do solo, em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DS), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (DS+AS), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.

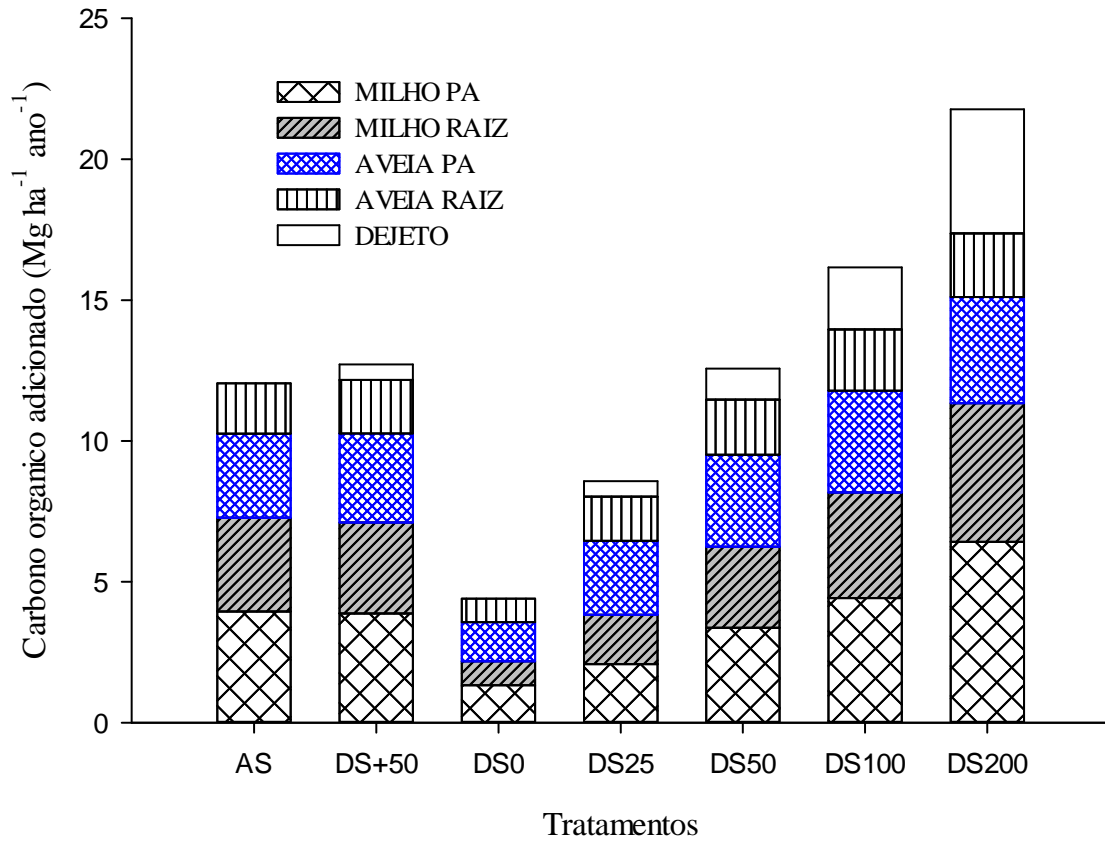
Tratamentos	Milho			Aveia			DS		Total adicionado
	MS PA	C PA	C raiz*	MS PA	C PA	C Raiz*	MS	C	C
----- Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ -----									
AS	9,2 B	3,9	3,3	4,2 CD	1,9	1,2	0	0	10,4
DS+AS	9,0 BC	3,9	3,2	5,7 CD	2,7	1,6	1,5	0,55	11,9
DS0	3,1 D	1,3	0,9	2,2 E	1,0	0,6	0	0	3,8
DS25	4,8 CD	2,1	1,8	4,7 CD	2,2	1,3	1,5	0,55	7,9
DS50	7,9 BC	3,4	2,9	6,5 BC	3,1	1,8	3	1,1	12,2
DS100	10,3 B	4,4	3,8	8,2 AB	3,8	2,3	6	2,2	16,5
DS200	14,9 A	6,4	4,9	8,7 AB	4,1	2,5	12	4,4	22,3

Fonte: Produção do próprio autor

*valor estimado a partir de dados de referências bibliográficas (SWINNEN, et al., 1994, JOHNSON, et al., 2006); MS: massa seca; CO: carbono orgânico; AS: adubo solúvel; DS+AS: adubo solúvel + 25 m³ ha⁻¹ de dejetos suíno; DS0, DS25, DS50, DS100 e DS200: dejetos suíno nas quantidades de 0, 25, 50, 100 e 200 m³ ha⁻¹, respectivamente.

APÊNDICE B

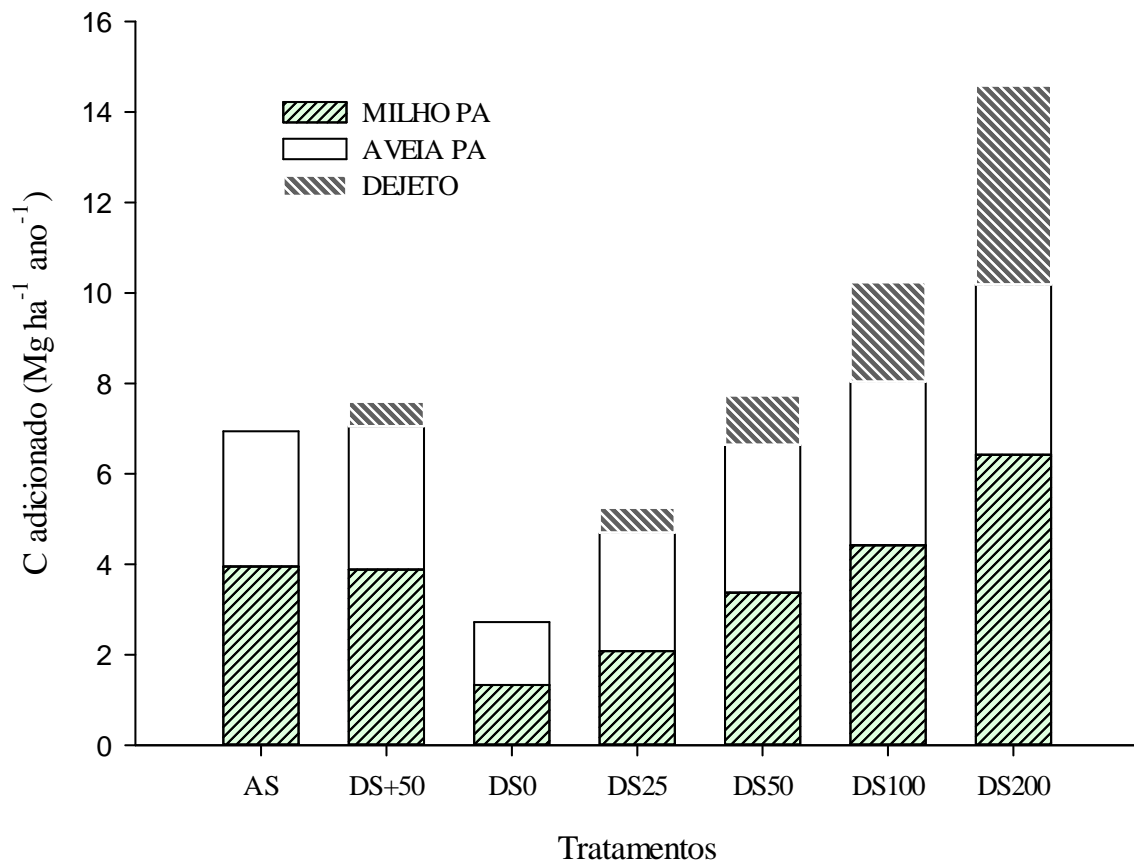
Figura 2. C orgânico adicionado através da biomassa das culturas de milho e aveia preta, em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suínos (DS), em doses de 0 a 200 m³ ha⁻¹, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (DS+AS), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto.



Fonte: Produção do próprio autor

APÊNDICE C

Anexo 3. Carbono orgânico fixado na biomassa de milho e aveia (kg ha^{-1}) (parte aérea) em Latossolo Vermelho Distroférico submetido a nove aplicações anuais de dejetos suíno (DS), em doses de 0 a $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, adubo solúvel (AS) e dejetos associados a adubo solúvel (DS+AS), em cultivos de sucessão aveia-milho em sistema plantio direto



Fonte: Produção do próprio autor