

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

**ANDREIA PATRICIA ANDRADE**

**ESTOQUE E FRAÇÕES DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS EM NITOSSOLO  
VERMELHO RELACIONADOS À APLICAÇÃO DE ESTERCO EM SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO**

**LAGES, SC**

**2013**

**ANDREIA PATRICIA ANDRADE**

**ESTOQUE E FRAÇÕES DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS EM NITOSSOLO  
VERMELHO RELACIONADOS À APLICAÇÃO DE ESTERCO EM SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO**

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. Álvaro Luiz Mafra  
Co-orientador: Dr. Juliano Corulli Correa

**LAGES, SC**

**2013**

**ANDREIA PATRICIA ANDRADE**

**ESTOQUE E FRAÇÕES DE CARBONO E ATRIBUTOS FÍSICOS EM NITOSSOLO  
VERMELHO RELACIONADOS À APLICAÇÃO DE ESTERCO EM SISTEMAS DE  
PRODUÇÃO**

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.

**Banca Examinadora:**

Orientador: \_\_\_\_\_

Dr. Álvaro Luiz Mafra  
UDESC – Lages SC

Co-orientador: \_\_\_\_\_

Dr. Juliano Corulli Correa  
EMBRAPA Suínos e Aves – Concórdia SC

Membros:

\_\_\_\_\_  
Dr. Jonatas Thiago Piva  
UFSC – Curitibanos SC

\_\_\_\_\_  
Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
UDESC – Lages SC

\_\_\_\_\_  
Dr. Paulo Cezar Cassol  
UDESC – Lages SC

Lages, 05 de fevereiro de 2013

## AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, sabedoria e força para vencer os obstáculos.

À UDESC pelo ensino de qualidade.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Professor Álvaro Mafra, pela orientação, não somente na elaboração e condução dos trabalhos, mas também pelo exemplo passado através de sua generosidade, companheirismo, bondade, responsabilidade e honestidade. Muito obrigado.

À EMBRAPA, através do Dr. Juliano Corulli Correa, pela oportunidade de parceria de trabalho e disposição das áreas para avaliação.

A todos os professores do departamento de solos pelos ensinamentos transmitidos.

A todos os usuários do laboratório de física do solo pelo coleguismo durante os longos dias de trabalho.

A todos os funcionários do CAV.

Aos bolsistas, Augusto, Cristiano e Ana, que com sua dedicação tanto contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Ao meu esposo Gelso, pelo companheirismo, entusiasmo e compreensão dispensada durante todo o período de minha formação.

Aos meus pais Celso e Marita que sempre me ensinaram os caminhos corretos a seguir, com humildade e honestidade, especialmente incentivo ao estudo.

À Elaine e Rudinei, meus queridos compadres pelo apoio e incentivo. E especialmente meu querido afilhado Arthur, que sua presença contribuiu para me dar ânimo e força para conclusão desta etapa.

À minha querida irmã Sabrina e cunhado Gustavo, duas pessoas que muito me incentivaram a ir em frente nos caminhos do conhecimento. Muito obrigada.

Ao meu amigo Luiz, companheiro de projeto, pela ajuda durante a realização das análises e discussão dos dados.

As minhas amigas Franciani e Sueli, pela amizade e solidariedade nos momentos difíceis.

## RESUMO

ANDRADE, Andréia Patrícia. **Estoque e frações de carbono e atributos físicos em Nitossolo Vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção**. 2013. 86 f. Tese (Doutorado em Manejo do Solo) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

Suinocultura e avicultura representam para Santa Catarina uma das principais atividades de importância econômica e social. Os sistemas intensivos originam grandes quantidades de esterco. O impacto no uso desses materiais no solo depende das condições de uso e das quantidades adicionadas. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da aplicação de esterco de suínos e cama de aves no conteúdo de carbono orgânico total, sua distribuição nas frações granulométricas e em classes de agregados e nos atributos físicos e armazenamento de água de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia, SC. As áreas analisadas abrangeram diferentes usos e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem de azevém (P3 anos); pastagem de azevém (P15 anos); pastagem permanente (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de esterco (P0 anos). As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm, sendo avaliados os teores de carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e carbono orgânico contido nos agregados (C-agregados). Na camada 0-5 cm foram analisadas as substâncias húmicas. Dentre os atributos físicos avaliou-se densidade, porosidade total, macro e microporosidade, agregação, grau de flocculação, resistência à penetração e armazenamento de água através das curvas características de retenção de água no solo. Realizou-se o ensaio de Proctor para determinar valores de densidade máxima de compactação. Os estoques de COT e COP foram maiores na área de mata nativa na média das três camadas. O estoque de COT foi maior em P3 em relação as demais áreas que receberam esterco de animais, na soma das três camadas. Os maiores valores de COam foram observados na MN e P3, que diferiram das demais áreas. A MN teve os maiores teores de C-agregados de todos os tratamentos nas três classes de agregados avaliados e M7 teve os menores teores. As áreas com aplicação de esterco não evidenciaram aumento nos teores de CO do solo. As áreas com uso de esterco e diferentes sistemas de uso tiveram menor grau de flocculação das argilas e foi observada baixa microporosidade em algumas áreas avaliadas. Apesar disso, observaram-se condições físicas satisfatórias ligadas à estrutura do solo, como densidade do solo e resistência à penetração. O uso do solo alterou as curvas de retenção de água do solo em relação a MN. As áreas com aplicação de esterco tiveram maior retenção de água que MN nas tensões entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A quantidade de água disponível ficou abaixo do ideal requerido pelas culturas.

**Palavras chave:** Dejetos de suínos. Uso do solo. Matéria orgânica. Estrutura do solo. Armazenamento de água.

## ABSTRACT

ANDRADE, Patricia Andreia. **Carbon stock and fractions and physical properties in Rhodic Kandiodox related to manure applications on production systems**. 2013. 86 f. Thesis (DSc. in Soil Management) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, 2013.

Swine and poultry production consists one of the main activities with economic and social importance in Santa Catarina, Southern Brazil. The intensive animal production systems produce large quantities of manure requiring a proper disposal. The impact of these materials in the soil depends on the conditions of use and the amounts added. The aim of this study was to evaluate the effect of swine manure and poultry litter on the total organic carbon contents, its distribution in aggregate and granulometric size fractions and changes in physical properties and water storage on Rhodic Kandiodox, in Concordia, SC. The areas analyzed had different uses and times of application of swine manure and poultry litter, namely: maize for silage (M7 years), maize for silage (M20 years); ryegrass (P3 years); ryegrass ( P15 years); perennial pasture (PP20 years); mate (EM20 years); native forest (NF) and native pasture with no manure application (P0 years). Soil samples were collected at 0-5, 5-10 and 10-20 cm, were evaluated for total organic carbon (TOC), particulate organic carbon (POC), organic carbon associated to minerals (OC<sub>am</sub>), organic carbon contained in aggregates size fractions (C-aggregates). In the layer 0-5 cm humic substances were analyzed. The soil physical properties evaluated were bulk density, total porosity, macro and microporosity, aggregate stability, degree of flocculation, penetration resistance and water storage through curves of water retention. We carried out the Proctor test to determine maximum compaction. Values of TOC and POC were higher in native forest in the mean of the three layers. The largest stock of TOC was observed in P3 compared with other areas receiving animal manures, in the sum of three layers. The highest OC<sub>am</sub> values were observed in MN and P3, which differed from other areas. NM had the highest levels of C-aggregate of all treatments in all three classes of aggregates evaluated and M7 had the lowest levels. The application of animal manure did not increase levels of soil organic carbon. The use of animal manures and different use systems adopted reduced degree of flocculation of the clays and low macroporosity was observed in some of the evaluated areas. Nevertheless, we observed good physical condition related to soil structure, such as bulk density and penetration resistance. The soil use changed water retention curves in relation to MN. Areas with application of manure had higher water retention than MN, considering tensions between field capacity and wilting point. The amount of available water was lower than the ideal required by crops.

**Key-words:** Animal manures. Organic matter. Soil structure. Water storage.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização quanto à cor úmida e granulometria de Nitossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves. .	33
Tabela 2- Características das áreas estudadas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico.....	34
Tabela 3 -Teores de argila total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em Nitossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo e distintos tempos de aplicação de esterco de animais.....	35
Tabela 4- Composição média dos esterco de suínos e aves adicionados ao solo. ....	35
Tabela 5 -Teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono orgânico total (COTe) em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico. ....	39
Tabela 6 - Densidade do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico.....	40
Tabela 7 - Teores de carbono orgânico particulado (COP) e estoques de carbono orgânico particulado (COPE), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico. ....	43
Tabela 8 - Estoque de carbono orgânico total associado aos minerais ( $\text{COam, Mg ha}^{-1}$ ), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico. ....	44
Tabela 9 - Carbono orgânico total em agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,75mm, 4,75 e 2mm e inferior a 2,0mm, em três camadas em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.....	45
Tabela 10 - Índice de manejo do carbono (IMC) calculado para a camada de 0-20cm de um Nitossolo Vermelho, submetido a diferentes usos do solo e diferentes tempo de aplicação de esterco de suínos e aves. ....	47
Tabela 11- Teores de carbono nas frações ácidos húmicos, fúlvicos e huminas na camada de 0-5cm de um Nitossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco animais.....	48

Tabela 12 - Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico. ....	56
Tabela 13- Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e grau de flocculação (GF) de Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves. ....	58
Tabela 14- Resistência do solo à penetração determinada no potencial matricial de 6 kPa num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves. ....	60
Tabela 15- Densidade máxima (D <sub>max</sub> ), densidade do solo (D <sub>s</sub> ) e densidade relativa obtida pelo ensaio de Proctor em um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves. ....	61
Tabela 16- Resultado da análise de variância, com valores de P>F, para efeito de sistema de uso, camada e interação (sistema de uso x camada) na água retida ao solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves, num Nitossolo Vermelho Eutrófico. ....	63

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1- Volume de bioporos em Nitossolo Vermelho em diferentes tempos de aplicação de esterco de animais e sistemas de uso do solo.....57
- Figura 2- Comportamento do solo para o ensaio de Proctor Normal, em Nitossolo Vermelho, para tratamentos com diferentes anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves e usos do solo, em duas profundidades: 0-10cm (a) e 10-20cm (b). ..... 62
- Figura 3 - Curvas de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980), nos diferentes sistemas de manejo e profundidade estudadas em Nitossolo Vermelho. .... 66
- Figura 4- Conteúdo de água disponível em Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves. .... 68

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL .....	13
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	14
2.1 IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA .....	14
2.2 DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	15
2.2.1 Estabilização da matéria orgânica do solo.....	17
2.2.2 Acúmulo de carbono no solo a partir da adição de esterco animal.....	19
2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO .....	21
2.3.1 Fracionamento físico da MOS .....	22
2.3.2 Fracionamento químico da MOS.....	23
2.3.3 Estoques de carbono no solo .....	24
2.4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MOS .....	25
2.4.1 Agregação do solo .....	25
2.4.2 Densidade e porosidade do solo .....	27
2.4.3 Disponibilidade de água no solo.....	28
2.5 HIPÓTESES .....	29
2.6 OBJETIVOS .....	29
3 CAPÍTULO I. DINÂMICA DO CARBONO EM NITOSSOLO VERMELHO EUTRÓFÉRICO PELA ADIÇÃO DE ESTERCO E USO DO SOLO.....	30
RESUMO .....	30
3.1 INTRODUÇÃO.....	31
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.2.1 Localização da área .....	32
3.2.2 Descrição dos tratamentos .....	32
3.2.3 Amostragem de solo .....	35
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	37
3.3.1 Carbono orgânico total .....	37
3.3.2 Carbono orgânico particulado .....	41

3.3.3 Carbono nas diferentes classes de agregados .....	44
3.3.4 Índice de manejo do carbono .....	46
3.3.5 Substâncias húmicas .....	47
3.4 CONCLUSÃO.....	49
4 CAPITULO II. APLICAÇÃO DE ESTERCOS DE ANIMAIS, ATRIBUTOS FÍSICOS E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM UM NITOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES USOS DO SOLO.....	50
RESUMO .....	50
4.1 INTRODUÇÃO.....	51
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	52
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	54
4.4 CONCLUSÃO.....	68
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	71
ANEXOS .....	13

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A suinocultura e avicultura são atividades amplamente difundidas no Sul do Brasil, especialmente no Estado de Santa Catarina, e exploradas basicamente em pequenas propriedades rurais, com mão-de-obra quase que exclusivamente familiar. Segundo associação catarinense de criadores de suínos ACCS (2011), o Estado conta com 8 mil suinocultores alocados em propriedades familiares localizadas em regiões de topografia acidentada, o que acarreta maiores problemas de descarte dos resíduos. Trata-se de atividades geradoras de grande volume de resíduos, em função da alta tecnologia empregada no processo produtivo, sendo que o sistema utilizado é o confinamento dos animais, e os esterco tem como destino final sua aplicação no solo.

A aplicação de resíduos orgânicos ao solo na forma de esterco constitui uma maneira de repor os elementos extraídos pelas culturas, complementando ou substituindo os fertilizantes minerais recomendados nos programas de adubação. As condições edáficas do manejo do solo e das culturas, a dose e frequência de aplicação de esterco interferem na disponibilidade de nutrientes, e neste sentido as pesquisas estão bastante avançadas. Por outro, lado poucas são as pesquisas voltas a avaliação das modificações ocorridas nos atributos físicos do solo mediante aplicação de resíduos orgânicos como esterco de animais (JOKELA et al., 2009). Entretanto há necessidade de estudos voltados ao uso de esterco de animais e suas relações com os atributos físicos do solo e com armazenamento de água, especialmente em locais onde essa prática ocorre por longos períodos de tempo. Sendo que vale resaltar que o manejo dos esterco animais possibilitam recuperação de áreas degradadas, uma vez que o resíduo poderá melhorar atributos do solo, conforme maior o tempo de aplicação, agindo como condicionador do ambiente solo.

No capítulo 1 será abordado o efeito do uso de esterco de animais no carbono orgânico do solo, bem como nas diferentes classes de agregados, na fração particulada e nas substâncias húmicas. Além da aplicação de esterco tem-se também diferentes sistemas de uso do solo, os quais podem alterar a dinâmica da matéria orgânica no solo. Perante as mudanças climáticas globais, o solo e suas formas de uso e manejo estão em foco, principalmente nos solos agrícolas, pois estes podem atuar como dreno ou fonte de gases so efeito estufa. Sistemas de manejo que aumentam a dição de resíduos vegetais e o sequestro de C no solo podem ser alternativa importante na mitigação do aquecimento global (AMADO et al. 2001). Sistemas de uso do solo com aplicação de esterco de animais pode ser uma opção de aporte de

carbono ao solo, diretamente no caso de materiais que contenham altos teores e carbono, ou indiretamente através da adição de nutrientes ao solo capaz de favorecer a produção de biomassa e raízes de plantas cultivadas.

O capítulo 2 trata das relações existentes entre aplicação de esterco de animais em diferentes sistemas de uso do solo com as propriedades físicas do solo. A estrutura do solo e sua funcionalidade são dependentes dos constituintes do solo, do arranjo entre estes e a estabilidade, refletindo nas trocas de fluidos. A aplicação de esterco pode alterar a condição estrutural do solo mediante modificações na estrutura como quantidade de poros, retenção e disponibilidade de água, resistência a penetração e densidade do solo.

O crescente aumento na produção de carne de suínos e frangos, tem como consequência melhorias nas tecnologias de produção e também na quantidade de esterco produzidos por estas atividades. No entanto, os agricultores encontram a possibilidade de adubar os solos de suas propriedades, pois estão disponíveis a baixo custo. Portanto, estudos que envolvem as relações agricultura e ambiente é crescente a necessidade de adoção de critérios que possam avaliar de forma correta, as condições atuais, a qualidade do solo, bem como fornecer subsídios aos agricultores sobre os melhores agroecossistemas agrícolas.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 IMPORTÂNCIA DA SUINOCULTURA**

A suinocultura representa para o estado de Santa Catarina uma das principais atividades de importância econômica e social (OLIVEIRA, 1993). De acordo com a Associação Catarinense de Criadores de Suínos (2011), a importância dessa atividade consiste não só no grande contingente de produtores envolvidos, mas também pelo volume de empregos gerados direta e indiretamente. Santa Catarina é o maior produtor de suínos do Brasil, possuindo um plantel de 6,2 milhões de suínos. No PIB estadual a suinocultura é a primeira atividade participando com 23,4% (ICEPA, 2005).

Os sistemas intensivos de criação de suínos praticados na região oeste de Santa Catarina originam grandes quantidades de esterco que necessitam de destinação adequada. Entre outros destinos a utilização como fertilizante tem sido a de maior receptividade pelos agricultores, por ser a de mais fácil operacionalização na propriedade. A utilização como fertilizantes se dá porque estes resíduos orgânicos contém nutrientes para o desenvolvimento

das plantas. Porém, há preocupação quanto ao acúmulo de alguns elementos químicos, como metais pesados, que pode advir depois de muitos anos de aplicação desses fertilizantes (SEGANFREDO, 1999).

## 2.2 DINÂMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A importância da matéria orgânica do solo (MOS) para os diversos processos físicos, químicos e biológicos é amplamente conhecida no meio científico especialmente na área de Ciência do Solo. Por apresentar várias funções no ambiente solo a MOS é muito estudada e existe muitas informações na literatura que tratam dos seus benefícios para o sistema solo, exercendo funções relacionadas com a ciclagem e retenção de nutrientes, agregação do solo, retenção da água no solo e é fonte básica de energia para a atividade biológica (ROSCOE et al., 2006).

O solo é considerado por Adiscott (1995) como um sistema aberto, o qual está em constante troca de energia e matéria com o ambiente. Mediante esse fluxo de energia o solo se desenvolve pela interação entre os fatores material de origem, clima, relevo, organismos e tempo. O conteúdo de matéria orgânica de um solo sem interferência antrópica como as áreas de vegetação natural revela um sistema estabilizado quanto as entradas e saídas de energia e matéria. O uso agrícola inadequado pode reduzir esse conteúdo de matéria orgânica, principalmente quando são adotados sistemas de preparo com uso intenso e revolvimento do solo e sistemas de cultivo com baixo aporte de resíduos vegetais (BAYER e MIELNICZUK, 2008).

Em solos de regiões tropicais as temperaturas são mais elevadas em relação à região temperada e considerando ambientes úmidos os processos químicos e bioquímicos no solo são mais acelerados são observadas altas taxas de decomposição da MOS. Em ambientes tropicais, o processo de degradação dos solos encontra-se intimamente relacionado à dinâmica da matéria orgânica (FELLER e BEARE, 1997). Diversos autores salientam que a conversão da vegetação nativa em área agrícola pode reduzir drasticamente os teores de MOS, devido ao menor aporte de resíduos e ao aumento na taxa de decomposição, bem como elevação nas perdas nas camadas superficiais do solo pela erosão (FELLER e BEARE, 1997; BAYER e MIELNICZUK, 1999; CARTER, 2001; SOUZA e MELO, 2003).

Em sistemas naturais, os fatores de formação do solo são os determinantes primários dos processos de ciclagem de C, uma vez que exercem influência sobre o aporte de resíduos e

sobre as saídas de C do solo (ZINN et al., 2005; STEVENSON, 1994). Em sistemas agrícolas, 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, da colheita, dos métodos de preparo do solo e do manejo dos restos culturais (LAL e BRUCE, 1999).

O conteúdo de MOS é determinado pela diferença entre as quantidades de carbono adicionadas e perdidas (BAYER e MIELNICZUK, 2008), 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;  $k_1$  e  $K_2$  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  $k_1$ , e a quantidade perdida para a atmosfera na forma de decomposição microbiana, lixiviação e erosão são afetados pelos valores de  $K_2$ . Esses coeficientes são afetados por fatores climáticos como temperatura e umidade, tipo de solo (textura, mineralogia) e pelas práticas de manejo do solo, especialmente o grau de revolvimento do solo. Alguns autores relatam que os valores de  $K_2$  são mais elevados nas regiões tropicais e subtropicais, ou seja, em torno de 10% (CERRI, 1986; BAYER et al., 2000), enquanto que nas regiões temperadas essas taxas são inferiores a 2% (BALESDENT et al., 1990).

As altas temperaturas e umidade de regiões tropicais afetam principalmente a atividade biológica e conseqüentemente a decomposição da MOS. Os atributos físicos do solo como textura e mineralogia afetam as taxas de mineralização da MOS. Solos mais intemperizados que têm alto teor de óxidos de ferro apresentam maior proteção à matéria orgânica, tanto física pela formação de agregados, como também pela estabilidade química devido à interação entre matéria orgânica e superfície dos óxidos. Bayer (1996), estudando a dinâmica da matéria orgânica em Latossolo, encontrou valores de  $K_2$  (taxa de decomposição) de 1,4%, quando manejado em sistema de preparo com revolvimento do solo. Esse mesmo solo teve uma redução na taxa de decomposição para 1,2% em sistema conservacionista como o plantio direto. Por outro lado, em Argissolo com 22% de argila essa taxa foi de 5,4% em preparo convencional, e 2,9% no sistema plantio direto. Esses dados indicam que o manejo do solo com menor mobilização do solo mantém maior proteção física da matéria orgânica e

também na recuperação dos estoques de carbono no solo. Considerando esses resultados é notada a importância do manejo conservacionista em solos mais arenosos, pela menor agregação e menor teor de óxidos nesse tipo de solo, o que faz com a matéria orgânica tenha menor estabilização, ao passo que nos solos argilosos a alta estabilidade química reduz os efeitos do manejo do solo (OADES et al., 1989).

A manutenção dos teores de matéria orgânica no solo resulta de um conjunto de ações que envolvem condições climáticas, tipos de solo e manejo do solo, incluindo neste último práticas de preparo e o manejo das culturas. Em condições naturais, como áreas de florestas, as altas taxas de decomposição da matéria orgânica são contrabalanceadas pela adição de maiores quantidades de carbono via biomassa, assim os estoques de matéria orgânica em solos de regiões tropicais e subtropicais são semelhantes aos verificados em solos de regiões temperadas (SANCHES, 1976; GREENLAND et al., 1992). Além disso a proteção física no interior dos agregados (FELLER e BEARE, 1997) e a alta estabilidade química encontrada junto as superfícies oxídicas (PARFITT et al., 1997), são fatores determinantes para manutenção dos estoques de matéria orgânica em solos de regiões tropicais e subtropicais. Nestes ambientes, o clima possibilita o crescimento de uma diversidade muito grande de espécies vegetais durante todo o ano, assim viabiliza produção de biomassa suficiente para manutenção dos teores de carbono orgânico (SANCHES, 1976; GREENLAND et al., 1992), considerando ausência de restrições edáficas e hídricas.

### **2.2.1. Estabilização da matéria orgânica do solo**

Em um solo onde a taxa de decomposição da matéria orgânica diminui, ocorre aumento no tempo médio de residência dos compostos orgânicos no solo, como pode ser observado em áreas com manejo conservacionista (plantio direto). A conversão do sistema convencional para conservacionista, aumenta a adição de resíduos, e o C permanece por mais tempo estabilizado. Segundo Silva e Mendonça (2007), a estabilização da MOS ainda não é completamente entendida. Mas é reconhecido do que a proteção do carbono no solo ocorre por estabilização química, proteção física e recalcitrância bioquímica (JASTROW e MILLER, 1998).

A estabilização química ou coloidal é relacionada com as frações argila e silte do solo (ZINN et al., 2005), formando complexos organo-minerais. Nesta interação organo-mineral vários mecanismos atuam tais como: ligação eletrostática, forças de van de Waals, pontes de

hidrogênio e ligação de coordenação com oxihidróxidos e argilas silicatadas (STEVENSON, 1994). A estabilização química é importante para a agregação do solo a medida que estas ligações entre partículas do solo e matéria orgânica representam o princípio de agregação, formando os microagregados, que se unem formando os macroagregados. A complexidade química dos compostos organo-minerais irá determinar a velocidade de decomposição do C armazenado no solo. A estabilidade química tem papel relevante em solos com argilas do tipo caulinita e óxidos de Fe e Al. Neste caso, os mecanismos de interação dependem dos grupos funcionais envolvidos, do tipo de carga predominante no mineral, da presença de cátions metálicos e das condições do meio. A argila é a fração mais reativa no solo devido ao seu tamanho coloidal. Nesta fração estão os argilominerais e os óxidos de Fe e Al. Desta forma, nos solos argilosos espera-se maior teor de C associado aos minerais do que os solos arenosos. A textura do solo pode influenciar esse mecanismo de estabilização, uma vez que, em solos arenosos com predomínio de poros maiores, o ataque de microorganismos se dá tanto na superfície dos agregados como dentro dos agregados, enquanto em solos argilosos com predomínio de microporos os microorganismos se limitam à superfície do agregado (CHENU et al., 2001). Esse mecanismo de proteção da matéria orgânica pela agregação do solo permite a proteção não-seletiva de compostos orgânicos, acarretando em estabilização de formas mais lábeis de carbono orgânico. A estabilidade dos microagregados (< 0,25mm) é afetada pela fração argila (mineralogia do solo) e pela matéria orgânica humificada. Os agentes ligantes desta classe de agregados, são compostos orgânicos isolados que são adsorvidos às superfícies dos minerais filossilicatos e óxidos, ou compostos orgânicos associados com polímeros de óxidos de ferro e de alumínio e cátions polivalentes, fazendo a ponte entre os minerais filossilicatos e os óxidos. Essas interações organominerais são muito estáveis e sua ação ligante pode ser tornar persistente por vários anos, protegendo o material orgânico do ataque dos microorganismos. Os macroagregados (> 2mm) são formados principalmente pela ação mecânica das raízes e hifas de fungos que entrelaçam os agregados menores. Essa estabilização é afetada pelo manejo do solo.

A proteção física é o principal mecanismo de estabilização em solos de regiões temperadas, com o predomínio de argilominerais 2:1 (SIX et al., 2004), este mecanismo também tem sido destacado em regiões tropicais, em solos arenosos e com baixa concentração de óxidos (BAYER et al., 2006; AMADO et al., 2006.) Os agregados atuam diminuindo o acesso dos microorganismos e de seu sistema enzimático à MO protegida, bem como reduz a difusão de oxigênio. Inicialmente o C adicionado ao solo é protegido por microagregados, que

recentemente tem sido proposto como o mais eficiente indicador dos mecanismos físicos de estabilização do C em solos de regiões temperadas (SIX et al., 1999). Posteriormente, os microagregados se unem formando macroagregados. Desta forma, parte do C recentemente adicionado pode ficar protegido fisicamente interagregados, porém no interior do macroagregado. Assim, os macroagregados formados pela união de microagregados limitam o acesso dos microrganismos ao C, além de melhorarem a estrutura e qualidade do solo.

A recalcitrância bioquímica é um mecanismo complexo relacionado à composição química dos compostos orgânicos. Sendo que essa complexidade pode ser inerente ao próprio resíduo vegetal adicionado ao solo, como o alto teor de compostos fenólicos, lignina, taninos, relação C/N) ou aos processos de polimerização que ocorrem durante a decomposição dos resíduos vegetais, humificação, os quais tornam-se mais resistentes à decomposição. A lignina é o segundo constituinte mais abundante nos resíduos vegetais e por apresentar ligações cruzadas entre carboidratos e proteínas que constitui os monômeros de ácidos fenólicos em sua constituição, é menos facilmente degradada pelos microrganismos, e assim contribui substancialmente para a MO do solo. Essa alteração de ácidos fenólicos derivados das plantas pelos microroganismos, seguida da complexação com aminoácidos, leva a formação de polímeros chamados substâncias húmicas. Essas substâncias contribuem para a estabilização da MO do solo, pois são compostos complexos, com grande diversidade de componentes o que dificulta a ação das enzimas (SILVA e MENDONÇA, 2007).

Esses mecanismos de estabilização da MOS atuam simultaneamente em benefício a agregação do solo, e reciprocamente a agregação beneficia a proteção da matéria orgânica do solo. A formação dos macroagregados com aproximação dos microagregados pela ação de raízes e hifas de fungos intensifica a agregação. Em solos de regiões tropicais altamente intemperizados, os oxihidróxidos de Fe e Al são componentes importantes na estabilização da matéria orgânica do solo que, por sua vez, juntamente com as argilas, contribuem para melhorar a agregação e estrutura do solo. A adoção do plantio direto melhora tanto quantitativa quanto qualitativamente a MOS, resultando em melhor qualidade química e física.

### **2.2.2 Acúmulo de carbono no solo a partir da adição de esterco animais**

Nos últimos anos a crescente preocupação com as emissões de gases do efeito estufa e aquecimento global levaram a um interesse por sequestro de carbono nos solos (FOLLETT

2001). Segundo Banger et al., (2009) o solo desempenha um importante papel na mitigação dos problemas causados pela emissão de CO<sub>2</sub>, pelo armazenamento de carbono em diferentes compartimentos no solo. Das 136 Pg de carbono estimados que são emitidas para a atmosfera devido à mudança no uso da terra, cerca de 57% atribui-se a diminuição do carbono orgânico do solo (LAL, 1999). De acordo com o mesmo autor, práticas de manejo podem diminuir essa emissão de C para a atmosfera, reduzindo assim o impacto no aquecimento e ainda melhoram a fertilidade do solo e a produtividade. Isso é especialmente importante em regiões tropicais e subtropicais, onde os solos apresentam baixos teores de C (MANDAL et al., 2005).

Alguns estudos têm mostrado que o aumento no estoque de carbono no solo está diretamente relacionado com a quantidade de resíduos adicionados ao solo (RASMUSSE et al., 1980), incluindo os esterco (HARTWIG e AMOM, 2002). Alguns trabalhos com utilização de fertilizantes orgânicos apontam manutenção dos teores de carbono orgânico a curto prazo (ARRUDA et al., 2010, COSTA et al., 2011). Entretanto, várias pesquisas com longo tempo de avaliação mostram aumento nos teores de carbono orgânico no solo com aplicação de esterco de animais (BARILLI, 2005; HATI et al., 2006; GONG et al., 2009). Um fato a ser considerado é que em alguns trabalhos os resíduos orgânicos adicionados ao solo são restos culturais juntamente com esterco de animais, ou esterco de animais associado a fertilizantes minerais e esta estratégia pode ser importante para aumentar os teores de carbono, uma vez que a maioria dos fertilizantes orgânicos de origem animal (principalmente de suínos) apresenta baixa relação C/N, que associado a materiais com alta relação C/N podem em conjunto aumentar os estoques de carbono orgânico. Já em condições onde se aplicam apenas fertilizantes orgânicos com características de baixo teor de matéria seca e de carbono orgânico, pode este, aumentar a atividade microbiana, resultando em maior intensidade de mineralização da matéria orgânica do solo e assim apenas manter ou até reduzir os estoques de carbono no solo.

Banger et al. (2009) avaliando diferentes fontes de adubação, incluindo mineral orgânica no cultivo de arroz ao longo de 16 anos na Índia, observaram maiores teores de carbono orgânico na superfície em todos os tratamentos avaliados, porém os estoques maiores foram observados no tratamento com adubo orgânico. Observaram também, que o uso exclusivo de adubos orgânicos ou em conjunto com adubo mineral aumentou o estoque de carbono no solo. Malhi e Gill (2002) salientam o efeito indireto da adição de fertilizantes orgânicos através do aumento na disponibilidade de nutrientes, que aumenta a produção de biomassa e raízes, e conseqüentemente irá adicionar carbono orgânico ao solo.

Segundo Gong (2009), a aplicação de esterco de animal pode aumentar os teores de matéria orgânica do solo. Este efeito tem sido reconhecido e usado há aproximadamente 4000 anos na China, Japão e Coreia com o objetivo de restaurar a fertilidade e melhorar o rendimento das culturas (DORMAAR et al., 1988). A presença da MOS pode melhorar o suprimento de nutrientes, e as propriedades físicas do solo, além de proteger contra a erosão e promover a atividade biológica (JIMENEZ et al., 2002). Kiehl (1985), afirma que a incorporação da matéria orgânica nos solos, na forma de esterco animal ou de compostos orgânicos, principalmente em solos velhos aumenta a capacidade de troca catiônica, chegando a 70% da CTC oriunda da matéria orgânica, e melhora a estrutura, caracterizada pela diminuição de densidade do solo, aumento da porosidade e da taxa de infiltração de água, além de aumentar direta e indiretamente a capacidade do solo de armazenar água.

Zhao et al. (2009), após 25 anos de experimento conduzido na China, em solo com 23% de areia, 43% silte e 33% de argila, avaliando tratamentos que incluíam adubação mineral, adubação mineral mais resíduos vegetais e uma combinação de adubo mineral (N+P) com esterco de suíno, observaram maior rendimento de grãos no tratamento com esterco suíno em relação ao demais, na média dos 25 anos de condução do experimento. O teor de carbono foi significativamente maior no tratamento que recebeu esterco suíno em relação ao tratamento com fertilizante mineral, porém foram iguais ao tratamento com adubo mineral e palha. Estes resultados mostram que os níveis de matéria orgânica tendem a aumentar em solos que recebem fertilizantes orgânicos animais ou vegetais. Estes aumentos são muito importantes em solos que têm níveis mais baixos de matéria orgânica.

### 2.3 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA DO SOLO

A manutenção da matéria orgânica é importante para o uso sustentável do solo devido aos múltiplos efeitos na disponibilidade de nutrientes e estabilidade da estrutura. A conversão de florestas nativas para solo cultivado, geralmente é acompanhado pelo declínio no estoque de carbono e de nutrientes, além da perda da estrutura (DETWILER, 1986; BALESSENTE et al., 1998; SPACCINI et al., 2001). O cultivo altera os processos físicos, químicos e biológicos do solo, além de reduzir a entrada de resíduos de plantas causando distúrbio no solo. Neste sentido é fundamental dispor de metodologias apropriadas para avaliar os efeitos do uso e manejo do solo sobre os compartimentos da MOS. Devido a sua complexidade e diversidade estrutural (CLAPP e HAYES, 1999) e às possibilidades de interação com a matriz mineral do

solo, a MOS não representa um componente simples e homogêneo, mas sim um conjunto heterogêneo de materiais orgânicos que se diferem em composição, grau de disponibilidade para a microbiota e função no ambiente.

### **2.3.1 Fracionamento físico da MOS**

Atualmente o fracionamento físico da MO tem se destacado para avaliar os compartimentos da MO e suas alterações pelos manejos utilizados. Os métodos de fracionamento físico são considerados menos destrutíveis e mais relacionados com a função e estrutura da MO, do que o fracionamento químico (CHRISTENSEN, 2000). O fracionamento físico busca relacionar a matéria orgânica do solo com a agregação e estabilidade de agregados ou para a quantificação de compartimentos da MO do solo visando conhecer sua dinâmica.

Entre os métodos de fracionamento físico, o densimétrico baseia-se na diferença de densidade entre a fração orgânica e mineral, sendo divididas três frações: fração leve livre, leve oclusa e pesada. A fração leve livre corresponde aos materiais orgânicos derivados principalmente de restos vegetais, que contém quantidades razoáveis de resíduos microbianos e microfauna, hifas fúngicas, esporos, fragmentos de raízes e sementes (MOLLOY e SPEIR, 1977; GOLCHIN et al., 1997). A fração leve oclusa compreende compostos orgânicos, incluindo resíduos de plantas, peletes fecais, grãos de pólen, pelos radiculares, com tamanho reduzido e grau de decomposição mais avançado em comparação a fração leve livre (GOLCHIN et al., 1994; CHRISTENSEN, 2000). E, por fim a fração pesada que é constituída por materiais orgânicos em avançado estágio de decomposição, fortemente ligados a fração mineral. São compostos orgânicos de elevada recalcitrância (CHRISTENSEN, 2000). A fração pesada concentra a maior parte do carbono orgânico do solo, sendo responsável, na maioria das vezes, por mais de 90% do carbono total (CHRISTENSEN, 2000; ROSCOE et al., 2001, 2003).

Outro método empregado para fracionamento físico é o granulométrico que objetiva separar a MO do solo em duas frações: o material particulado associado à fração areia (> 53 µm), sendo composto por resíduos de plantas e hifas de fungos; e o material orgânico associado aos minerais, nas frações silte e argila (< 53µm), sendo definido como a fração que interage com as partículas minerais, formando complexos organominerais, estando protegido pelo mecanismo de proteção coloidal.

O fracionamento granulométrico aparece como uma ferramenta útil no estudo da matéria orgânica do solo, mostrando diferenças tanto na estrutura como na dinâmica da MO, quando esta se encontra ligada às partículas de diferentes tamanhos. O fracionamento granulométrico da MO do solo em seus compartimentos pode auxiliar na avaliação das modificações decorrentes do manejo do solo, devido a maior sensibilidade dessas frações, principalmente a curto prazo.

### **2.3.2 Fracionamento químico da MOS**

O grau de complexidade da MO leva a vários estudos que tentam compreender essa complexidade através de fracionamentos do solo, procurando separar frações homogêneas quanto à natureza, dinâmica e função. O fracionamento químico possibilita a extração de substâncias húmicas do solo com posterior obtenção dos ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas, separados em função de sua solubilidade ácido-base, a diferentes valores de pH. As substâncias húmicas são constituídas por moléculas complexas, heterogêneas e polidispersas, modificadas química e biologicamente, que apresentam coloração variando de amarela a castanha (SILVA e MENDONÇA, 2007; GUERRA et al., 2008). A avaliação das substâncias húmicas colabora no entendimento da melhoria nas propriedades físicas do solo, das interações organo-minerais, da diminuição da fixação de fósforo e do impacto da agricultura na qualidade do solo.

As substâncias húmicas representam a maior parte da matéria orgânica morta do solo e têm sido as mais intensivamente estudadas (COLEMAN et al., 1989). Representam uma categoria de materiais de ocorrência natural, resultantes da decomposição de resíduos de plantas e animais, e de atividades sintéticas de microorganismos e têm longo tempo de permanência no solo, com centenas ou até milhares de anos (MARTIN-NETO et al., 1998). As substâncias húmicas compõem cerca de 85 a 90% da reserva de carbono orgânico no solo (KONONOVA, 1982; ANDREUX, 1996).

Os ácidos fúlvicos são compostos de maior solubilidade por apresentar maior polaridade e menor tamanho molecular e são os principais responsáveis por mecanismos de transporte de cátions no solo. Os ácidos húmicos são os compostos que apresentam pouca solubilidade em meio ácido, e são responsáveis pela maior parte da CTC de origem orgânica em camadas superficiais. A humina é responsável pela agregação das partículas e, na maioria

dos solos tropicais representa boa parte do carbono humificado do solo (BENITES et al., 2003).

### **2.3.3 Estoques de carbono no solo**

Os estudos voltados a mensuração dos estoques de carbono orgânico no solo têm sido intensificados nos últimos anos, os quais demonstram que as duas principais práticas agrícolas que impactam esses estoques de carbono são o preparo do solo e o sistema de cultura (BAYER et al., 2011). Geralmente o não-revolvimento do solo no plantio direto ou a mínima mobilização do solo intensificam a estabilização do carbono evidenciada pelas menores taxas de decomposição. Por outro lado a intensa movimentação do solo no sistema convencional promove rápida degradação dos resíduos orgânicos adicionados, ocasionando baixa retenção de carbono no solo.

O acúmulo de carbono em solos pode ser obtido através do incremento no aporte de carbono via adoção de sistemas de rotação de culturas, intensificação dos cultivos por unidade de tempo, utilização de culturas de cobertura na entressafra, fertilização adequada, incremento nas doses de nitrogênio, estímulo ao crescimento radicular, entre outros (STEWART et al., 2007). Campos et al. (2011), estudando os estoques de carbono em um Latossolo Vermelho no Sul do Brasil, observaram maiores conteúdos de carbono no solo no sistema onde o cultivo foi mais intenso usando rotação com cinco culturas diferentes em relação a cultivos menos intensos com rotação de duas e três culturas diferentes. Assim, concluíram que a diversificação de culturas é uma importante estratégia para reter carbono no solo e melhorar a qualidade da MOS em solos intemperizados.

Ainda referente a adição de carbono no solo destaca-se a importância das raízes, pois estas normalmente apresentam uma conversão maior do carbono adicionado em carbono da MOS em comparação à biomassa da parte aérea. Bayer et al. (2011) cita que em média 21% do carbono adicionado pelas raízes passa a ser incorporado à matéria orgânica do solo, enquanto a conversão do carbono da biomassa aérea para a MOS é em média de 12%. Outros autores observaram valores diferenciados de conversão de C. Bolinder et al. (1999), observaram valores de 14 a 30% de conversão de C das raízes para a MOS e de 7 a 23% do C da biomassa aérea para MOS. Bayer et al. (2011) atribuem a maior conversão do C das raízes, possivelmente à sua localização no interior dos agregados de solo e talvez ao maior teor de lignina em comparação com a biomassa aérea.

### **2.3.4 Índice de manejo do carbono**

O índice de manejo de carbono (IMC) é um indicador de qualidade do manejo do solo e permite avaliar o processo de perda ou ganho de qualidade do solo. Quanto maior o IMC, melhor a qualidade do solo e vice-versa. Os compartimentos de carbono orgânico do solo e a labilidade do carbono influenciam os atributos físicos do solo, bem como a capacidade de auto-organização dos solos (ADDISCOTT, 1995; BLAIR e CROCKER, 2000; VEZZANI, 2001). Assim, a integração entre os compartimentos do carbono e a labilidade compõem este índice, inicialmente proposto por Blair et al. (1995). O IMC pode ser um parâmetro útil para avaliar a capacidade de sistemas de manejo do solo, objetivando promover a qualidade do solo (BLAIR et al., 1995; DIEKOW, 2005). Vieira et al. (2007), discorrem que apesar da existência de grande número de experiências a longo prazo capazes de fornecer dados pertinentes relativos ao manejo do solo, poucos estudos avaliam a integração entre a labilidade do carbono e seus compartimentos.

## **2.4 ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO E MOS**

Segundo Braida et al. (2011), o comportamento físico do solo está relacionado com as características do seu espaço poroso. Este por sua vez compreende a distribuição do tamanho, continuidade no perfil dos solos e sua estabilidade no tempo. A matéria orgânica interfere nos atributos físicos do solo, contribuindo com efeito direto (elevada área superficial específica) e indiretos (agregação e consistência do solo).

A agregação é uma característica física importante às funções do solo, influencia na porosidade, infiltração e retenção de água, resistência do solo à compactação, e no desenvolvimento e produtividade das culturas (LYNCH e BRAGG, 1985; BAUMGARTL e HORN, 1991). A formação e estabilização dos agregados são influenciadas pela matéria orgânica (BRONICK e LAL, 1973), e sua função na manutenção da qualidade do solo, especialmente em solos de regiões tropicais e subtropicais (NEUFELDT et al., 1999).

### **2.4.1 Agregação do solo**

A estabilização dos agregados é um fator chave nas questões relacionadas aos problemas ambientais e de fertilidade dos solos. A resistência dos agregados como atributo

físico do solo, determina a resistência do solo à erosão (LE BISSONNAIS, 1996), germinação e enraizamento das plantas cultivadas (LYNCH E BRAGG, 1985; ANGERS e CARON, 1998) e a habilidade do solo em estocar carbono, pela proteção física das moléculas orgânicas (JASTROW e MILLER, 1998). Assim os fatores que influenciam a estabilidade dos agregados têm sido objeto de estudo de muitos pesquisadores (KAY, 1998; HATI et al., 2006; FERREIRA et al., 1999; COSTA et al., 2004). A aplicação de resíduos orgânicos pode aumentar a estabilidade dos agregados do solo, porém esse efeito depende da classe de textura. Solos arenosos, com menor estabilidade, respondem mais que solos argilosos, os quais possuem estabilidade de agregados inerente. O efeito dos dejetos de animais sobre a estabilização dos agregados do solo em água varia de solo para solo e, muitas vezes, são necessárias aplicações durante vários anos para que as diferenças sejam detectadas (WEIL e KROONTJE, 1979).

A textura, mineralogia da fração argila, conteúdo de cátions, óxidos de ferro e alumínio e matéria orgânica do solo são os principais fatores que influenciam a estabilidade de agregados. Porém, a matéria orgânica é normalmente, o fator que mais afeta a estabilidade de agregados, devido as mudanças relacionadas com as práticas agrícolas. Em muitos sistemas de cultivo a matéria orgânica fresca é periodicamente adicionada ao solo via resíduos de culturas, mas as quantidades e qualidade do material adicionado são variáveis, assim as práticas agrícolas poderão ser uma interessante solução para manutenção da fertilidade dos solos e reabilitação de solos degradados (ABIVEN et al., 2009).

A partir do efeito na agregação, outras características são afetadas, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e infiltração de água, e resistência do solo à compactação, as quais interferem na qualidade do solo e na sua capacidade produtiva. Zhao et al. (2009), ao avaliar a estabilidade de agregados de um solo tratado com diferentes manejos e adubações, observaram aumento na agregação do solo ao aplicar esterco de suínos junto a adubação mineral em relação ao tratamento sem esterco, e conseqüentemente o efeito da melhoria na agregação estendeu-se para aumento na porosidade total, microporosidade e menor densidade do solo. Esses autores discutem que a densidade do solo diminuiu em função do maior conteúdo de carbono adicionado ao solo, e ao aumento da biomassa radicular, o que melhorou a estrutura do solo e promoveu floculação dos minerais de argila, o que é uma condição essencial para agregação das partículas do solo.

A formação dos agregados é atribuída principalmente às forças físicas envolvidas no umedecimento e secamento, congelamento e descongelamento, e ação e compressão pelas

raízes. Após aproximação das partículas minerais, a matéria orgânica tem papel fundamental na estabilização dos agregados (BAYER e MIELNICZUK, 2008). Na formação e estabilização de agregados (microagregados) várias formas de ligação ocorrem concomitantemente. Os radicais orgânicos que interagem com a superfície do mineral, as ligações eletrostáticas, de coordenação e ponte de cátions auxiliados por outras formas de atração como as pontes de H, forças de van der Waals e aumento da entropia no sistema conferem a alta resistência dos agregados organominerais. Outra categoria de compostos orgânicos importantes na estabilização de agregados são os polissacarídeos, que são mucilagens provenientes do metabolismo microbiano (STEVENSON, 1994) e da decomposição de raízes, resíduos vegetais e animais e da exsudação radicular. Nos macroagregados os componentes orgânicos mais importantes são os polissacarídeos e as hifas de fungos. O efeito de hifas se dá por ação mecânica, unindo os microagregados (EASH et al., 1994). Assim os macroagregados dependem da constante adição de resíduos vegetais, visando a reposição de compostos temporários (polissacarídeos microbianos, raízes finas e hifas de fungos), os quais são os principais responsáveis pela sua estabilidade (TISDAL e OADES, 1980; DEGENS, 1997; SILVA e MIELNICZUK, 1997).

#### **2.4.2 Densidade e porosidade do solo**

A densidade e a porosidade do solo são atributos ligados à estrutura do solo e estão relacionados com propriedades físicas e hídricas como porosidade de aeração, retenção de água no solo, disponibilidade de água às plantas e resistência à penetração (KLEIN, 2008).

De acordo com Archer e Smith (1972), o limite máximo tolerado da densidade dos solos argilosos é de  $1,2 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo que solos com densidade acima de  $1,3 \text{ g cm}^{-3}$  apresentam sérias desvantagens quanto à permeabilidade e aeração. O solo como um sistema trifásico constituído de fase sólida, líquida e gasosa, deve apresentar proporção adequada desses constituintes, porém esse equilíbrio pode ser afetado com as variações da temperatura, pressão, luz, atividade dos microorganismos, adições de água, adições de matéria orgânica, absorção de íons pelas raízes das plantas, práticas de preparo do solo, além de outros fatores. A proporção ideal dos componentes de um solo deve ter cerca de 50% de porosidade total e 50% do volume de sólidos; os sólidos devem estar divididos em 45% de matéria mineral e 5% de matéria orgânica, e a porosidade total em 33% de microporos e 17% de macroporos (KIEHL, 1979).

### 2.4.3 Disponibilidade de água no solo

A água disponível para as plantas compreende aquela contida no solo entre a umidade do solo na capacidade de campo (CC) e a umidade no ponto de murcha permanente (PMP) (KLEIN, 2008). A capacidade de campo é a quantidade de água retida pelo solo após a água gravitacional ter drenado e a taxa de movimento decrescido acentuadamente, o que usualmente ocorre dentro de dois ou três dias em solo permeável de estrutura e textura uniforme (VEIHMEYER e HENDRICKSON, 1931). Adotou-se a umidade na tensão 10 kPa, como CC. O ponto de murcha permanente compreende o teor de água no solo no qual as folhas das plantas atingem murchamento irreversível, mesmo quando colocada em atmosfera saturada com vapor de água (VEIHMEYER e HENDRICKSON, 1950).

Segundo Klein (2008), a disponibilidade de água é afetada pela estrutura do solo, a qual depende de fatores como o arranjo de partículas, a distribuição do tamanho de poros, tipo e quantidade de argila e o teor de matéria orgânica do solo. Assim, as alterações no teor de matéria orgânica devido as práticas de manejo do solo, interferem sobre as forças de retenção de água no solo e sua disponibilidade às plantas (COSTA et al., 2003; ARAÚJO et al., 2004; SILVA et al., 2005).

Braida et al., (2011), demonstraram que não há consenso com relação ao teor de matéria orgânica e a água disponível as plantas, devido a grande divergência encontrada nos resultados obtidos ao correlacionar estes dois atributos do solo. Os autores atribuem esta variação aos diferentes procedimentos adotados para avaliar a correlação entre essas variáveis. Além do que, há uma variação muito grande em relação aos tratamentos adotados nos experimentos avaliados. Assim considera-se importante o fato de que a matéria orgânica tem efeitos sobre a força de retenção de água e, portanto afeta a disponibilidade de água de forma direta e, ou indireta.

A incorporação da matéria orgânica nos solos, na forma de esterco animal ou de outros compostos orgânicos, aumenta a capacidade de troca catiônica e melhora a estrutura, com diminuição na densidade do solo, aumento na porosidade e na taxa de infiltração de água, além de aumentar direta e indiretamente a capacidade do solo de armazenar água (KIEHL, 1985).

Em estudo de longa duração (16 anos) avaliado na China, Zhao et al. (2009) observaram que houve maior disponibilidade e de água nos tratamentos que tinham palha e

esterco suíno, em relação aos tratamentos que tinham apenas adubação mineral. Ainda, estes tratamentos apresentaram maior agregação do solo e maior microporosidade e porosidade total. Mellek et al. (2010), trabalhando com esteco líquido de bovino de leite em Ponta Grossa-PR, em um Cambissolo Háptico também encontraram resultados satisfatórios com relação ao uso de fertilizantes orgânicos e melhoria nas propriedades físicas do solo, como diminuição da densidade do solo, incremento na macroporosidade e no diâmetro médio ponderado dos agregados.

## 2.5 HIPÓTESES

O efeito dos esterco associado ao uso do solo aumenta os teores de carbono orgânico do solo, refletindo em incremento nos estoques deste elemento em diferentes compartimentos da matéria orgânica do solo. O estoque de carbono na fração particulada do solo poderá ser alterada devido ao melhor desenvolvimento e crescimento das plantas., ocasionando ocupação de maior volume de solo pelas raízes e contribuindo para redução da densidade do solo, aumento da porosidade e capacidade de retenção de água.

O uso de esterco melhora as propriedades físicas do solo, proporcionado pelo volume maior de raízes, o que contribui para redução da densidade do solo, aumento da porosidade e capacidade de retenção de água.

Áreas com tradicional uso agrícola e adição de esterco de animais por longos períodos, que são muito comuns no estado de Santa Catarina, mantém as propriedades físicas do solo em condições propícias para o cultivo de culturas anuais e pastagens.

## 2.6 OBJETIVOS

Avaliar as interações entre aplicação de esterco e uso do solo para teores de carbono orgânico no solo em diferentes frações físicas do solo e sua distribuição nas substâncias húmicas.

Avaliar as relações existentes entre a aplicação de esterco ao longo de vários anos e uso do solo nas propriedades físicas de um Nitossolo Vermelho Eutrófico.

### **3 CAPITULO I. DINÂMICA DO CARBONO EM NITOSSLO VERMELHO EUTRÓFÉRICO PELA ADIÇÃO DE ESTERCO E USO DO SOLO**

#### **RESUMO**

O fracionamento granulométrico do carbono orgânico do solo pode contribuir para o entendimento da sua dinâmica em áreas com aplicação de esterco animal e uso do solo. O objetivo do estudo foi avaliar o efeito da aplicação de esterco de suínos e cama de aves em diferentes usos do solo sobre o conteúdo de carbono orgânico total e a distribuição deste elemento nas frações granulométricas e em classes de agregados de Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia, SC. As áreas analisadas abrangeram diferentes usos e tempos de aplicação de esterco, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem de azevém (P3 anos); pastagem de azevém (P15 anos); pastagem permanente (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de esterco (P0 anos). As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm, sendo avaliados carbono orgânico total (COT), carbono orgânico particulado (COP), carbono orgânico associado aos minerais (COam) e carbono orgânico contido no interior dos agregados (C-agregados). Na camada 0-5 cm foram analisadas as substâncias húmicas. Os estoques de COT e COP foram maiores na área de mata nativa nas três profundidades estudadas, indicando que o uso agrícola desencadeia o processo de degradação e perda de carbono, que foi confirmado pelo baixo IMC em todos os tratamentos com uso agrícola. A aplicação de esterco animal não aumentou os teores de carbono orgânico do solo. A fração particulada mostrou-se sensível para avaliar os sistemas de uso e manejo. A determinação de C nos agregados maiores de 2,0 mm não foi suficiente para estimar retenção de carbono no solo nas classes de agregados.

**Palavras-chave:** Esterco animal. Carbono orgânico particulado. IMC.

### 3.1 INTRODUÇÃO

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 (LOSS et al., 2009). Normalmente a redução nos estoques de carbono orgânico do solo cultivado em relação a florestas nativas pode ser atribuída ao aumento da erosão do solo, aos processos mais acelerados de mineralização da matéria orgânica, assim como o menor aporte de material orgânico.

Na região oeste de Santa Catarina, a criação de suínos e aves é uma atividade típica de pequenas propriedades rurais, onde os esterco são utilizados como fertilizantes orgânicos nas áreas de produção agrícola. A contribuição desses materiais em termos de carbono orgânico e nutrientes efetivamente adicionados ao solo depende da quantidade de resíduos adicionada e da sua facilidade de decomposição (BRANCALIÃO e MORAIS, 2008).

Esses materiais orgânicos podem também alterar aspectos funcionais da MOS, interferindo em frações lábeis ou estáveis da MOS, o que pode implicar na durabilidade do seu efeito quanto à retenção de carbono atmosférico, bem como nas modificações em propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. Uma das formas de avaliar essas alterações é o fracionamento granulométrico da MOS (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1992) com separação do carbono orgânico particulado (COP) e do carbono orgânico associado aos minerais (COam). O COP é a fração da MOS separada por dispersão e peneiramento do solo associada à fração areia ( $COP > 53\mu m$ ), sendo caracterizado como partículas derivadas de resíduos de plantas e hifas com estrutura celulares reconhecíveis, cuja permanência no solo está condicionada à proteção física desempenhada por agregados (GOLCHIN et al., 1994). O COam é a fração da MOS associada às frações silte e argila do solo ( $COam < 53\mu m$ ), interagindo com a superfície de partículas minerais, formando complexos organominerais, o que resulta em maior proteção coloidal. 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).

Sistemas de manejo que promovem diferentes aportes de biomassa vegetal e a aplicação de esterco 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 objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de esterco de suínos e aves, em diferentes tempos e usos de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, quanto aos teores de COT, armazenamento de carbono nas frações particulada e associada aos minerais, a participação do C contido nos diferentes tamanhos de agregados e teor de carbono nas diferentes frações húmicas.

## 3.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.2.1 Localização da área

O estudo foi realizado em Concórdia, SC, em áreas selecionadas conforme uniformidade de relevo, profundidade, granulometria e cor do solo (Tabela 1), próximas entre si, sendo o solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico.

O clima é classificado como mesotérmico subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação de Köppen, sendo que os meses mais frios têm temperaturas médias acima de 10°C, e os meses mais quentes temperatura média acima de 23°C. A precipitação média anual é elevada, bem distribuídos ao longo do ano (SANTA CATARINA, 1991).

### 3.2.2 Descrição dos tratamentos

Os sistemas de uso do solo consistiram em áreas consolidadas com diferentes usos do solo e formas de cultivo com aplicação de esterco de suínos e aves (Tabela 2). A aplicação dos esterco de suínos se dá no modo tradicional de descarte, com aplicação a lanço na dose total de  $50 \text{ m}^{-3} \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ , de acordo com a legislação da FATMA (Fundação do meio ambiente) para Santa Catarina, ocorrendo aplicação em média a cada três meses. A aplicação de cama de aves é realizada uma vez ao ano na dose média de  $2 \text{ ton ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . O esterco de suíno aplicado é oriundo da granja de terminação de suínos. As áreas destinadas a pastagem são pastejadas por bovinos, em média 35-40 cabeças, as quais pastejam de acordo com a disponibilidade de forragem nas áreas. A lotação média das áreas de pastagem é de 6 a 7 cabeças por hectare.

**Tabela 1** - Caracterização quanto à cor úmida e granulometria de Nitossolo Vermelho submetido a diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves.

Tratamentos	Profundidade	Cor	Areia	Silte	Argila <sup>(2)*</sup>
	-----cm-----				
M7	0-20	10 R 3/6	81	386	532
	20-40	10 R 3/4	59	325	615
	40-60	10 R 3/4	68	285	646
M20	0-20	10 R 3/6	47	354	597
	20-40	10 R 3/6	31	193	775
	40-60	10 R 3/6	38	194	768
P3	0-20	10 R 3/6	74	404	521
	20-40	10 R 3/4	84	326	589
	40-60	10 R 3/6	109	257	633
P15	0-20	10 R 3/6	60	363	576
	20-40	10 R 3/4	37	239	723
	40-60	10 R 3/4	39	230	731
PP20	0-20	10 R 3/6	42	323	633
	20-40	10 R 3/4	30	214	755
	40-60	10 R 3/4	37	225	737
EM20	0-20	10 R 3/6	78	343	585
	20-40	10 R 3/4	52	222	725
	40-60	10 R 3/6	60	257	682
MN	0-20	10 R 3/6	130	468	401
	20-40	10 R 3/6	91	297	612
	40-60	10 R 3/6	163	376	460
P0	0-20	10 R 3/6	120	395	484
	20-40	10 R 3/4	116	364	519
	40-60	10 R 3/6	174	322	504

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa.

<sup>(1)</sup> Determinada pela comparação visual utilizando a carta de Munsell.

<sup>(2)</sup> Determinada pelo método da pipeta (EMBRAPA, 1997).

\* Amostra composta por três sub amostras.

**Tabela 2-** Características das áreas estudadas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico.

<b>Sistema de uso e manejo</b>	<b>Descrição/Histórico</b>
Milho- 7 anos (M7)	Área: 4 ha; cultivo de milho para silagem (2 safras anuais), com 7 anos de aplicação de esterco de suínos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; semeadura direta na safra de verão e pousio no inverno; aplicação de calcário a cada 4 anos na dose de 4 Mg ha <sup>-1</sup> .
Milho- 20 anos (M20)	Área: 3 ha; cultivo de milho para silagem (2 safras anuais), 20 anos de aplicação de esterco de suínos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; preparo convencional do solo; cultivo de azevém no inverno; aplicação de 4 Mg ha <sup>-1</sup> de calcário a cada 4 anos.
Pastagem anual- 3 anos (P3)	Área: 1 ha; adubação com esterco durante 3 anos a cada 3 meses; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; cultivo de aveia e azevém no inverno e no verão milheto e capim sudão; uma escarificação anual; utilizada para pastejo de bovinos de leite. Antes do cultivo de pastagem a área era ocupada com contivos anuais de soja e milho com aplicação de esterco.
Pastagem anual- 15 anos (P15)	Área: 2 ha; adubação com esterco de suínos durante 15 anos, a cada 3 meses; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano); sem aplicação de fertilizante mineral; cultivo de aveia e azevém no inverno e no verão milheto e capim sudão; uma escarificação anual; utilizada para pastejo de bovinos de leite.
Pastagem permanente - 20 anos (PP20)	Pastagem contínua com gramíneas espontâneas azevém, aveia e nabo sem pastejo, com uma roçada anual; aplicação de esterco há 20 anos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano) nos primeiros 10 anos de uso do solo; sem aplicação de fertilizante mineral.
Erva mate- 20 anos (EM20)	Cultivo de erva mate e azevém nas entrelinhas; sem pastejo; aplicação de esterco de suínos na entrelinha há 20 anos; aplicação de cama de aves (1 vez ao ano) nos primeiros 10 anos de uso do solo.
Mata nativa (MN)	Mata nativa sem interferência antrópica.
Pastagem nativa sem dejetos (P0)	Área: 2 ha; pastagem nativa, com pastejo; sem aplicação de fertilizantes orgânicos; utilizada para pastejo de bovinos de leite.

Na tabela 3 encontram-se as proporções da fração argila do solo determinada nas três profundidades estudadas, utilizando o método da pipeta (Tabela 3).

**Tabela 3** -Teores de argila total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) em Nitossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo e uso do solo e distintos tempos de aplicação de esterco de animais.

Sistemas de uso do solo	Profundidades (cm)		
	---- 0-5 ----	---- 5-10 ----	---- 10-20 ----
M7	528	543	528
M20	563	580	623
P3	501	511	535
P15	556	583	581
PP20	583	637	656
EM20	505	591	622
MN	365	370	434
P0	396	506	515

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa.

### 3.2.3 Composição química dos esterco

Os materiais orgânicos adicionados ao solo na forma de esterco de animais possuem composição química de nutrientes variados. A tabela 4 mostra os teores médios dos principais nutrientes que compõem esterco aportados ao solo nos diferentes sistemas produtivos.

**Tabela 4** - Composição média dos esterco de suínos e aves adicionados ao solo.

Dejeto suíno					
pH	K ( $\text{mg L}^{-1}$ )	P ( $\text{mg L}^{-1}$ )	N ( $\text{mg L}^{-1}$ )	C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	MS (%)
7,1	1555	1008	5016	14,7	3,2
Cama de frango					
	K ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	P ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	N (%)	C ( $\text{g kg}^{-1}$ )	
	14543	1,49	6477	57,5	

### 3.2.3 Amostragem de solo

O modelo de delineamento utilizado foi entre grupos e dentro de grupos, pois trata-se de um estudo observacional que apresenta as repetições de parcelas. O número de coletas foi de oito repetições em cada área, realizadas de forma sistemática em transecto, com pontos espaçados de 10 metros entre si. A coleta das amostras foi realizada em setembro de 2009, em três camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm, mediante abertura de trincheira de 20 x 20 cm.

No momento da coleta, as áreas P3, P15 e M20 estavam com cultivo de aveia e azevém, em estágio fenológico vegetativo e presença dos animais nas áreas. No tratamento M7 havia cultivo de milho em estágio V6 e EM20 cultivo de avevém em pleno florescimento nas entrelinhas da erva mate.

Para a análise do carbono orgânico total (COT), foram coletas 10 sub-amostras, no entorno de cada ponto do transecto, com uso de trado calador, sendo que para cada camada, o solo foi homogeneizado obtendo uma amostra composta, a qual foi acondicionada em sacos plásticos e levado ao laboratório onde foi destorroada, seca ao ar, moída e passada em peneira de 2mm de diâmetro. O carbono orgânico particulado (COP), foi fracionado a partir da mistura de 20g de solo e 60 mL de hexametáfosfato de sódio ( $5\text{g L}^{-1}$ ), agitado por 16 horas e passando a suspensão em peneira de  $53\mu\text{m}$  (CAMBARDELLA e ELLIOT, 1992). Após a separação a fração particulada foi seca em estufa a  $60^{\circ}\text{C}$  e moídas em gral de porcelana.

Os estoques de COT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ), foram calculados levando-se em consideração os valores de densidade de solo nas três camadas estudadas. Os estoques de COP foram calculados considerando a massa particulada retida na peneira utilizada para determinar o teor de COP. O estoque de carbono orgânico associado aos minerais (COam), foi calculado pela diferença entre os estoques de COT ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ) e COP ( $\text{Mg ha}^{-1}$ ).

O carbono contido no nos agregados (C-agregados) foi analisado depois da avaliação da estabilidade de agregados, determinada pelo método de peneiramento úmido em amostras destorroadas e tamisadas entre 8,0 e 4,75 mm, conforme método descrito por Kemper e Chepil (1965). Os agregados foram separados em três classes 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  $60^{\circ}\text{C}$  para posterior quantificação 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.

O efeito dos diferentes sistemas de uso do solo e tempos de aplicação de fertilizantes orgânicos sobre as formas do carbono orgânico 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 fórmulas:  $\text{IEC} = \text{COT}_{\text{tratamento}} / \text{COT}_{\text{mata nativa}}$  e  $\text{IL} = \text{L}_{\text{tratamento}} / \text{L}_{\text{mata nativa}}$ . O termo L representa a labilidade da matéria orgânica no tratamento avaliado ( $\text{L}_{\text{tratamento}}$ ) em relação à labilidade da matéria orgânica do sistema referência ( $\text{L}_{\text{mata nativa}}$ ). A labilidade é representada pelo COP (VIEIRA et al., 2007).

As substâncias húmicas foram determinadas apenas na camada 0-5cm de profundidade. O fracionamento químico das substâncias húmicas foi feito com base na solubilidade em meio ácido e alcalino, utilizando-se  $\text{NaOH } 0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Utilizou-se 1,5 g de

solo e 20 mL da solução NaOH, com centrifugação a 5000g, sendo esta etapa repetida duas vezes. Em cada processo de centrifugação coletou-se o líquido sobrenadante, com posterior coleta da fração precipitada foi reservada reservada para avaliação da fração húmica. A separação das frações ácidos fúlvicos (AF), ácidos húmicos (AH) e húmicas (H) foi realizada conforme metodologia descrita por Benites et al. (2003). Efetuou-se o ajuste de pH do estrato alcalino para pH 1,0 com adição de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (20%), após decantar por um período de 18 horas realizou-se a filtragem do precipitado em filtro membrana de 0,45 µm sob vácuo, obtendo-se assim a fração ácidos fúlvicos. Adicionou-se solução de NaOH 0,1 mol L<sup>-1</sup> sobre o precipitado retido no filtro até completa lavagem o mesmo, obtendo a fração ácidos húmicos. Após este procedimento aferiu-se os volumes das frações obtidas (ácidos fúlvicos e húmicos) para 50 ml com água destilada. Posteriormente determinou-se o teor de carbono orgânico em cada fração.

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F considerando modelo entre grupos e dentro de grupos amostrais, com avaliação do efeito dos tratamentos em cada camada e comparação de médias pelo teste “t” (P<0,05).

### 3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.1 Carbono orgânico total

Os diferentes usos do solo associado a aplicação de esterco de animais proporcionaram diferença quanto aos teores de carbono orgânico total (COT) em todas as camadas avaliadas (Tabela 5), porém a adição de esterco não proporcionou aumento nos teores de carbono no solo em relação aos sistemas sem adição de esterco. Houve interação entre tratamentos e profundidades tanto para os teores de carbono como para os estoques de carbono orgânico. Na camada de 0-5cm os tratamentos M20 e M7 tiveram os menores teores de COT em relação aos demais, com exceção de P15, que teve o menor teor de carbono de todos os tratamentos. Estes resultados podem ser atribuídos a exportação de material vegetal das áreas de cultivo de milho, e ao intenso uso do solo em P15, pois este tratamento é manejado com alta carga animal (30-40 animais ha<sup>-1</sup>) e com longo período de uso com pastagem. Em função da disponibilidade de poucas áreas de pastagens e a quantidade de animais, a área é pastejada em períodos de alta umidade, o que pode contribuir para a maior desgaste do solo. Não permitindo desta forma maiores aportes de carbono no solo.

Na camada 5-10cm os tratamentos M7, M20, P15, P0 e EM20 tiveram os menores teores de COT em relação aos demais tratamentos (P3 e MN). Com exceção da EM20 que é manejada sem preparo do solo e com cobertura de gramíneas nas entrelinhas, os demais (M7, M20, P15, P0) são manejados de forma mais intensa, com cultivo de milho em sistema de plantio direto no M7, e preparo convencional no M20 e ambos destinados à produção de silagem, e a pastagens P15 manejada com pastejo intenso resultam em menor aporte de matéria orgânica no solo. Portanto, o manejo das áreas contribui para as maiores diferenças nos teores de carbono orgânico do que propriamente o aporte de esterco.

O tempo de aplicação de esterco não influenciou os teores de carbono orgânico no solo como esperado, principalmente nas condições de alta exportação de biomassa e quando em condições de revolvimento do solo (escarificação), manejos estes que proporcionam maior velocidade de decomposição da MOS pelos microorganismos. Portanto esses resultados podem ser justificados pelo aumento da atividade microbiana do solo e maior intensidade de mineralização da matéria orgânica após aplicação de esterco. Outro fator que contribui para essa condição nas áreas que recebem esterco é o fato de que a adição de C anual pelo esterco de suíno e aves é de 450 e 115 kg, respectivamente. Arruda et al., (2008) também não observaram aumento nos teores de carbono orgânico mesmo com aplicação de altas doses ( $200\text{m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) de esterco suínos, após nove anos em Latossolo Vermelho, em Campos Novos, SC. Scherer et al. (2010) também não observaram aumento nos teores de MO em três solos derivados de basalto que receberam fertilizantes de suínos por mais de 20 anos no oeste de Santa Catarina. Tal resultado foi atribuído ao baixo teor de matéria seca (média de  $30\text{g dm}^{-3}$ ) e carbono orgânico aportado pelos esterco líquidos de suínos (SCHERER et al., 1996).

Com relação aos teores de carbono ao longo do perfil avaliado, apenas MN, EM20 e P0 tiveram diminuição no teor de carbono com aumento da profundidade (Tabela 5). Os demais tratamentos tiveram aumento de carbono com aumento da profundidade. Isto pode ser explicado pelo uso intenso das áreas de pastagem, que mesmo com aplicação de fertilizantes orgânicos não mantém os níveis de carbono das camadas superficiais mais altos em relação as camadas mais profundas. Também pode ser atribuído a rápida mineralização do carbono na ocasião da adição de esterco, pois estes contêm altos teores de nitrogênio e baixos teores de carbono, resultando em material orgânico com baixa relação C/N, o que resulta na manutenção ou diminuição do teor de carbono. No tratamento M20 a prática de revolvimento do solo promove aporte de material orgânico (restos de culturas e fertilizantes) na camada mais profunda, mantendo esse material mais protegido da ação microbiana, e isso pode

manter os níveis de carbono maior na subsuperfície do que na superfície do solo. Os tratamentos com pastagem, o efeito das raízes em profundidade pode contribuir para os maiores teores de carbono em profundidade, principalmente porque as espécies gramíneas têm a capacidade de produzir grande quantidade de raízes. Ainda pode-se destacar o efeito do esterco no aumento da produção de biomassa radicular, e consequente aumento de raízes na camada inferior. Zhao et al. (2009), ao avaliar atributos do solo mediante aplicação de esterco de suínos na China observaram efeito indireto do fertilizante através do aumento na produção de biomassa radicular, porém, no mesmo estudo obteve-se aumento no teor de carbono no solo em relação aos tratamentos com fertilizantes minerais.

**Tabela 5** -Teores de carbono orgânico total (COT) e estoque de carbono orgânico total (COTe) em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamentos	Profundidades			Média	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	<b>COT (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
M7	18,1 Bc	15,3 Ccd	21,7 Ad	19,2 ef	7
M20	18,8 Bc	16,6 Bcd	22,1 Ad	19,9 def	12
P3	22,5 Bb	20,1 Bb	28,7 Ab	25,0 b	13
P15	15,0 Bd	14,1 Bd	21,5 Ad	18,0 f	7
PP20	23,8 Bb	18,2 Cbc	25,6 Ac	23,3 bc	7
EM20	24,8 Ab	16,0 Ccd	21,4 Bd	20,9 de	12
MN	63,1 Aa	49,3 Ba	36,6 Ca	46,4 a	8
P0	23,8 Ab	15,6 Bcd	23,3 Acd	21,5 cd	15
CV	10	14	9		
	<b>Soma 0-20cm</b>				
	<b>COTe (Mg ha<sup>-1</sup>)</b>				
M7	11,5 cd	9,3 c	26,5 cd	47,5 c	8
M20	11,7 cd	10,6 bc	26,7 cd	49,1 c	11
P3	13,4 bc	12,4 b	32,7 b	58,5 b	15
P15	10,1 d	9,5 c	26,9cd	46,5 c	12
PP20	11,8 cd	10,1 c	29,4 c	51,3 c	7
EM20	14,3 b	10,3 c	26,0 d	50,6 c	14
MN	25,7 a	24,1 a	37,4 a	87,2 a	13
P0	14,4 b	9,2 c	25,7 d	49,4 c	16
CV	15	15	11	9,5	

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama e aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam profundidade, letras minúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t (P <0,05). \*CV: Coeficiente de variação.

Na camada superficial (0-5cm) os estoques de COT foram maiores em EM20 e P0 em relação aos demais tratamentos, com exceção da MN, atingindo 14,3 e 14,4Mg ha<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 5), variação semelhante ao que ocorreu com os teores de COT.

Nas três camadas estudadas, a MN teve o maior estoque de COT em comparação às demais áreas (Tabela 5), pode-se verificar que os usos agrícolas independentemente do manejo e dos tempos de aplicação de esterco, têm menor estoque de carbono em relação ao solo sob vegetação nativa. Observa-se que a MN mesmo tendo a menor densidade do solo (Tabela 6) do que todos os demais tratamentos tem o maior estoque de carbono orgânico total nas três profundidades, por outro lado o sistema com maior densidade do solo (P15) tem os menores estoques de carbono orgânico total. Esses resultados confirmam as relações existentes entre densidade do solo e teor de matéria orgânica, os quais tem correlação negativa entre si ( $r = -0,71$ ). Rangel e Silva (2007), estudando estoques de carbono em diferentes sistemas de uso e manejo de um Latossolo, na região de Lavras-MG, constataram que o cultivo do solo com reflorestamento, pastagem e milho reduziram o carbono em 28% em relação ao solo sob mata nativa. Por outro lado neste estudo os estoques de carbono tiveram redução de 55% em relação ao solo sob mata nativa nos tratamentos considerados com uso mais intenso como M7, M20, P15 e PP20. Um caso particular que merece discussão é o sistema PP20, o qual não é pastejado e durante todo o período permanece com cobertura do solo, neste caso atribui-se o menor estoque de carbono em relação à mata devido ao aporte contínuo de biomassa o qual favorece a atividade microbiana, e não permite aumentar os níveis de carbono no solo. Esses resultados indicam que o uso agrícola do solo pode reduzir os estoques de carbono em relação à condição natural de mata nativa, mesmo sob condições de manejo menos degradantes.

**Tabela 6** - Densidade do solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Sistemas de uso	Profundidade		
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm
	Densidade do solo ( g cm <sup>-3</sup> )		
<b>M7</b>	1,27 Aab	1,23 Abc	1,22 Aa
<b>M20</b>	1,24 ABbc	1,28 Aab	1,20 Bab
<b>P3</b>	1,18 Acd	1,22 Abc	1,14 Abc
<b>P15</b>	1,34 Aa	1,34 Aa	1,25 Ba
<b>PP20</b>	0,99 Be	1,11 Ad	1,14 Abc
<b>EM20</b>	1,15 Bd	1,28 Aab	1,21 Bab
<b>MN</b>	0,81 Af	0,97 Ae	1,02 Ad
<b>P0</b>	1,20 Abcd	1,18 Acd	1,10 Bc

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam profundidade, letras minúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t ( $P < 0,05$ ). \*CV: Coeficiente de variação.

As áreas com cultivo de milho foram semelhantes entre si quanto aos teores e estoques de carbono orgânico nas três camadas avaliadas. Pode-se verificar baixas quantidades de COT desses tratamentos em relação a MN, fato que pode ser relacionado primeiramente às altas exportações de biomassa, por ser cultivos destinados a produção de silagem com duas safras anuais; e o segundo fator é que em M20 o preparo do solo é convencional e M7 permanece em pousio no inverno, práticas que desfavorecem o acúmulo de carbono orgânico no solo (BAYER et al., 2000). Em todos os tratamentos houve aumento no estoque de carbono total com aumento da profundidade.

### **3.3.2 Carbono orgânico particulado**

Os teores de CO na fração particulada do solo sofreram influência dos tratamentos especialmente na camada de 0-5cm variando de 2,8 a 28,2g kg<sup>-1</sup>, entre P15 e MN, respectivamente (Tabela 7). O carbono orgânico particulado constitui-se num indicador sensível as alterações provocadas pelos sistemas de manejo, possibilitando verificar o efeito do manejo em curto prazo (BAYER et al., 2001, 2002). Os maiores teores de COP na camada superficial relacionam-se ao aporte de material orgânico na camada superficial, pois todas as áreas são cultivadas e a adição de resíduos vegetais como raízes, folhas e talos na superfície contribui para a maior quantidade de material particulado. Na camada de 5-10cm, M20, P3 e P0 tiveram os maiores teores de carbono na fração particulada em relação aos demais tratamentos, com exceção da MN. Loss et al. (2009) trabalhando em um Argissolo com diferentes usos observaram que o teor de carbono orgânico particulado é o melhor indicativo de qualidade da MOS em relação às alterações de manejo a curto prazo. Em todos os tratamentos os teores de CO da fração particulada decresceram em profundidade, mostrando que o carbono dessa fração é fortemente influenciado pelos resíduos vegetais ou esterco adicionados na superfície do solo.

Analisando as áreas de pastagem, P0 teve os maiores teores de carbono na fração particulada em relação à P15, PP20 e P3 (Tabela 7), este resultado é explicado pelo aporte constante de C em P0 por tratar-se de uma pastagem perene, onde o volume constante de grande quantidade de raízes favorece acúmulo de material particulado ao solo (RANGEL e SILVA, 2007), sendo que nas demais áreas P15 e P3 o pastejo intenso permite adição de resíduos vegetais em quantidade menores em relação a P0 e PP20 como já mencionado tem mineralização rápida do material vegetal aportado devido a alta atividade biológica neste

sistema. Nicoloso et al. (2008) verificaram que pastagens que são pastejadas tem redução de mais de 50% na adição de resíduos ao solo vindos da própria pastagem, independente do sistema de cultura utilizado. Bayer et al. (2011) mencionam o importante papel das raízes na adição de carbono ao solo, e essa condição é melhor observada em P0 por tratar-se de uma pastagem perene com crescimento persistente de raízes ao longo de todo o ano.

A mata nativa apresentou as maiores concentrações de carbono na fração particulada em relação às demais áreas em todas as profundidades estudadas. As áreas de cultivo de milho M20 e M7 tiveram teores de carbono particulado semelhantes entre si nas três camadas estudadas (Tabela 7), considerando mesmo uso do solo, cultivo de milho para silagem, este resultado mostra que mesmo mantendo o solo cultivado no inverno, como é o caso de M20, não é suficiente para manutenção dos teores de C. Assim justifica-se o consenso de que, em regiões tropicais e subtropicais, a dificuldade na manutenção de teores relativamente elevados de matéria orgânica em solos sob cultivo é bem superior em relação aos temperados (BAYER e MIELNICZUK, 2008), sendo portanto nessas regiões mais importante a definição de sistemas de manejo adequados para a conservação do solo e a produtividade das culturas.

O estoque de carbono da fração particulada da mata nativa foi maior que os demais tratamentos em todas as camadas avaliadas (Tabela 7). As maiores quantidades de carbono na fração particulada da MN pode estar associada ao fato de ser o sistema com cobertura permanente no solo, sem preparo e com constante aporte de material orgânico de grande diversidade biológica. O não revolvimento do solo reduz a decomposição da matéria orgânica do solo e favorece a sua estabilização pela formação de agregados mais estáveis (VEZZANI e MIELNICKZUK, 2011). Na camada de 0-5cm P0 e EM20 tiveram maiores quantidades de C particulado em relação a todos os demais sistemas. Na camada 5-10 cm P0 e P3 tiveram os maiores teores de C particulado em relação aos demais sistemas. E, na camada 10-20cm somente P0 teve estoques de C maior que os demais tratamentos.

Estes resultados podem ser explicados pelos diferentes usos do solo, onde P0 mantém aporte de C via cobertura vegetal contante pela pastagem perene, manutenção de raízes ao longo de todo o perfil, enquanto os demais sistemas não tem regularidade de aporte de material orgânico. Na camada 5-10cm P3 é igual a P0 o que pode ser uma consequência do uso anterior, pois esta área há três anos atrás era cultivada com culturas anuais e plantio direto, fato que pode favorecer maior manutenção de raízes na subsuperfície.

**Tabela 7** - Teores de carbono orgânico particulado (COP) e estoques de carbono orgânico particulado (COPE), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamentos	Profundidades			Média	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	<b>COP (g kg<sup>-1</sup>)</b>				
M7	5,4 Acde	2,0 Bcd	2,3 Bbcd	3,0	64
M20	5,1 Ade	3,7 Abc	1,7 Bcd	3,0	30
P3	6,2 Acd	4,7 ABb	3,2 Bbc	4,3	39
P15	2,8 Ae	2,1 Bcd	1,7 Bcd	2,0	19
PP20	5,6 Acde	1,7 Bd	1,3 Bd	2,4	14
EM20	8,1Abc	2,4 Bcd	1,7 Bd	3,4	33
MN	28,2 Aa	12,3 Ba	7,1 Ca	13,6	18
P0	10,4 Ab	4,7 Bb	3,5 Bb	5,5	20
CV	24	28	51		
	<b>Soma 0-20cm</b>				
	<b>COPE ( Mg ha<sup>-1</sup>)</b>				
M7	3,4 Acde	1,2 Bd	2,7 ABbcd	7,4 cde	75
M20	3,1 Ade	2,3 Abc	2,1 cd	7,7 cde	42
P3	3,7 cd	2,8 b	3,6 bc	10,2 bc	53
P15	1,9 Ae	1,4 Bcd	2,2 Acd	5,5 de	25
PP20	2,8 Ade	0,9 Cd	1,5 Bd	5,2 e	20
EM20	4,7 Abc	1,6 Bcd	2,1 Bcd	8,3 cd	44
MN	11,6 Aa	6,0 Ba	7,3 Ba	25,0 a	29
P0	6,3 Ab	2,8 Bb	3,9 Bb	13,0 b	31
CV	37	43	51	29	

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam profundidade, letras minúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t (P <0,05). \*CV: Coeficiente de variação.

Os tempos de aplicação de esterco de animais e o uso agrícola do solo reduziram os teores de carbono orgânico associado aos minerais (COam) comparativamente à mata nativa, provavelmente em virtude da ruptura dos agregados nas áreas cultivadas expondo o carbono à ação microbiana. Dentre as áreas que recebem aplicação esterco, as pastagens com 3 e 20 anos apresentaram maiores teores de COam (Tabela 8). O COam é, normalmente, menos modificado pelo manejo, o que pode estar relacionado à maior estabilização por associação à fração mineral, diminuindo sua decomposição (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

**Tabela 8** - Estoque de carbono orgânico total associado aos minerais (CO<sub>am</sub>, Mg ha<sup>-1</sup>), em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamentos	Profundidades			Soma 0 - 20cm	CV% *
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
M7	8,1 c	8,1 c	23,8 b	40,0 de	18
M20	8,5 bc	8,2 bc	24,5 b	41,4 d	10
P3	9,6 b	9,6 b	29,0 a	48,2 b	12
P15	8,1 c	8,0 c	24,7 b	40,9 d	13
PP20	9,0 bc	9,1 bc	27,9 a	46,0 bc	8
EM20	9,6 b	8,8 bc	23,8 b	42,3 cd	14
MN	14,0 a	18,0 a	30,0 a	62,1 a	14
P0	8,0 c	6,4 d	21,9 b	36,3 e	13

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Médias seguidas por diferentes letras na coluna diferem entre si pelo teste t (P <0,05). \*CV: Coeficiente de variação.

### 3.3.3 Carbono nas diferentes classes de agregados

O carbono nas diferentes classes de agregados foi afetado pelos tratamentos (Tabela 9). Na média das três camadas a maior variação ocorreu entre o tratamento referência (MN) e o tratamento M7, nas três classes de agregados avaliadas. Na classe de agregados com tamanho entre 8,0 e 4,75mm, a variação entre MN e M7 (tratamentos que obtiveram maior e menor teor de carbono respectivamente) foi de 83%. Na classe intermediária (tamanho 4,75 a 2mm) essa variação foi de 100% e na classe de agregados menores que 2mm essa variação entre MN e M7 foi de 140%. Esta variação pode estar relacionada com a proteção física do carbono nos macroagregados, reduzindo a ação decompositora dos microrganismos e de suas enzimas (BALESDENT et al., 2000). Além disso, Moreira e Siqueira (2006) relatam que solos submetidos ao preparo periódico, e que apresentam compactação ocasionada por tráfego de máquinas ou pelo pisoteio animal, podem limitar o crescimento e a atividade dos microrganismos, alterando a atmosfera do solo e diminuindo, assim, a taxa de decomposição da matéria orgânica. Por outro lado, práticas de manejo que preconizam menor revolvimento do solo e maior adição de resíduos orgânicos na superfície do solo aumentam os teores de carbono e desencadeiam processos físicos, químicos e biológicos sinérgicos, resultando em aumento da estabilidade dos agregados e dos estoques de carbono orgânico no solo (ROSCOE et al., 2006).

**Tabela 9** - Carbono orgânico total em agregados com diâmetro entre 8,0 e 4,75mm, 4,75 e 2mm e inferior a 2,0mm, em três camadas em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação esterco de suínos e aves num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Tratamento	Camada			Média
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm	
<b>COT (g kg<sup>-1</sup>) agregados 8,0- 4,75mm</b>				
M7	19,8 e	20,7 c	18,0 c	19,2 d
M20	29,9 bcd	27,5 ab	15,3 bc	25,2 c
P3	34,8 bc	28,5 ab	30,0 a	31,1 ab
P15	27,0 de	24,4 bc	26,1 ab	25,9 c
PP20	29,3 cd	23,9 bc	20,8 bc	23,7 cd
EM20	32,2 bcd	19,7 c	21,9 bc	23,9 d
MN	47,4 a	32,9 a	30,1 a	35,2 a
P0	36,9 b	25,2 bc	24,6 ab	27,9 bc
<b>COT (g kg<sup>-1</sup>) agregados 4,75 – 2,0mm</b>				
M7	19,3 e	18,4 d	15,3 e	17,1d
M20	29,2 cd	28,5 ab	21,6 cd	25,3 c
P3	31,8 cd	26,0 bc	25,8 abc	27,4 bc
P15	26,4 d	23,5 cd	23,9 bcd	24,5 c
PP20	31,0 cd	23,9 bcd	18,4 de	23,0 c
EM20	34,0 c	22,1 cd	21,3 cde	24,7 c
MN	50,5 a	34,5 a	31,1 a	36,8 a
P0	40,9 b	28,7 abc	28,1 ab	31,5 b
<b>COT (g kg<sup>-1</sup>) agregados &lt; 2,0mm</b>				
M7	18,4 d	17,3 d	12,9 d	15,4 c
M20	38,8 b	29,5 ab	22,4 bc	28,3 b
P3	36,7 b	27,7 bc	25,8 ab	29,0 b
P15	26,7 cd	24,6 bcd	21,8 bc	23,7 b
PP20	34,7 bc	24,5 bcd	20,2 c	25,0 b
EM20	34,3 bc	20,5 cd	19,7 c	23,6 b
MN	54,0 a	37,5 a	28,1 a	37,0 a
P0	36,6 b	28,0 bc	24,5 abc	28,4 b

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras minúsculas na coluna comparam tratamentos pelo teste t (P <0,05).

Os agregados maiores que 2,0mm (8-4,75 e 4,75-2cm), nos tratamentos MN, P0 e P3 tiveram teores maiores de carbono (Tabela 9), na média das três camadas avaliadas em relação aos demais tratamentos. O permanente aporte de material orgânico na MN e o papel do sistema radicular em P0 e P3 na exsudação de polissacarídeos podem ter contribuído decisivamente na agregação e na estabilização do carbono em agregados maiores. O tratamento P3 representa uma situação onde uso do solo e aplicação de esterco é mais recente, mantendo as condições de estabilização de agregados maiores e do carbono neles contidos mais próxima à condição de referência (mata nativa). Devido à natureza lábil de seus agentes ligantes, os efeitos do manejo do solo nos macroagregados (0,25-2,0mm) e a matéria orgânica a eles retida é maior do que nos microagregados (<0,25mm), os quais são mais estáveis e contém mais material orgânico humificado (ELLIOTT, 1986; GUPTA e

GERMIDA, 1988; CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993). Vários autores têm demonstrado (CAMBARDELLA e ELLIOTT, 1993; SPACCINI et al., 2001).

### 3.3.4 Índice de manejo do carbono

O índice de eficiência de carbono (IEC) mostrou-se maior no sistema P3 (0,67), enquanto que macroagregados contém mais carbono orgânico do que microagregados

os demais sistemas ficaram em torno de 0,53 e 0,58 (Tabela 10). Sendo que nenhum dos sistemas teve IEC próximo a MN. Isso mostra que nenhum sistema de uso do solo foi próximo a condição natural de MN, porém o sistema P3, foi o que teve maior IEC, isto pode estar associado ao fato de que este sistema, se aproxima da chamado integração lavoura-pecuária (ILP), por ter sido conduzido por lavouras anuais até recentemente (2006), que tem demonstrado ser uma alternativa de manutenção dos teores de carbono no solo, quando reduz-se a frequência de pastejo por bovinos no inverno (NICOLOSO et al., 2008; SCHIAVO et al., 2011). Assim este sistema (P3), pode representar uma condição mais recente de pastagem na qual o solo não está tão desgastado como nas demais, P15 principalmente. O valor de L que representa a labilidade do carbono foi maior em P0 (0,35) exceto MN, enquanto os demais sistemas tiveram valores variando de 0,11 a 0,21. O índice de labilidade (IL) que representa a relação entre a labilidade do sistema em questão e a labilidade do sistema referência variou de 0,23 a 0,88, onde P0 teve o maior índice de labilidade de todos os sistemas.

O cálculo do índice de manejo do carbono (IMC) para os solos estudados evidenciou maior valor no tratamento P0 (50,3) em relação aos demais, sendo o tratamento que mais se aproxima da MN, valor referência (Tabela 10). Os demais tratamentos tiveram IMC abaixo de 30, (com exceção da P3), indicando impacto negativo do uso e práticas de manejo sobre os teores de matéria orgânica. Este índice proposto por Blair et al. (1995), representa uma medida relativa das alterações provocadas pelo manejo do solo, onde se compara uma situação manejada com uma considerada original ou ideal, medindo as alterações nos estoques de COT.

**Tabela 10** - Índice de manejo do carbono (IMC) calculado para a camada de 0-20cm de um Nitossolo Vermelho, submetido a diferentes usos do solo e diferentes tempo de aplicação de esterco de suínos e aves.

Tratamentos	IEC	L	IL	IMC
M7	0,545	0,185	0,459	25,0
M20	0,563	0,184	0,456	25,6
P3	0,671	0,212	0,525	35,2
P15	0,533	0,134	0,334	17,7
PP20	0,587	0,113	0,281	16,4
EM20	0,580	0,196	0,487	28,2
MN	1,000	0,403	1,000	100,0
P0	0,567	0,358	0,889	50,3

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. IEC: índice de eficiência de carbono; L: labilidade; IL: índice de labilidade.  $IEC = COT_{tratamento} / COT_{mata nativa}$ ;  $IL = L_{tratamento} / L_{mata nativa}$ ;  $IMC = IEC \times IL \times 100$

O sistema de uso do solo P15 teve valor de IMC de 17,7 o qual representa o valor mais baixo assim como PP20 entre todos os sistemas. Este valores refletem o uso intenso de P15 com alta intensidade de pastejo pelos animais e baixo aporte de material orgânico pela biomassa. Souza et al. (2009), observaram que em pastejo menos intenso com altura de pasto de 20 e 40 cm não houve redução no IMC em relação à condição sem pastejo. Assim as condições de P15 no presente estudo com relação a intensidade de pastejo representam alta intensidade o que resulta em degradação da qualidade da matéria orgânica. O sistema PP20 também obteve IMC baixo, isto pode ser explicado pela maior atividade microbiana no solo visto que essa cobertura não é manejada e nem pastejada. Entretanto, mesmo adicionando biomassa vegetal em cobertura este não tem qualidade suficiente para manter a labilidade do carbono próximo a condição de MN. O sistema de uso P0 tem IMC 50,3 o que representa a condição mais próxima da referência MN, isto indica que o uso com pastagem perene pode ser uma alternativa para manter a labilidade da matéria orgânica melhor em relação ao uso com pastagens anuais.

### 3.3.5 Substâncias húmicas

Os resultados indicam que houve efeito nos teores de carbono das substâncias húmicas afetadas pelos diferentes sistemas de uso do solo (Tabela 11). A fração humina predominou

em relação às demais frações de carbono humificado em todos os tratamentos avaliados. Barreto et al, (2008) também observou maior percentual de carbono na fração humina ao estudar um Latossolo Vermelho-Amarelo na região Sul da Bahia sob diferentes usos do solo, porém os mesmos autores não encontraram diferenças nos teores de carbono da fração humina entre mata nativa e pastagem, atribuindo esses resultado ao fato da gramíneas contribuírem para elevar e manter os teores de carbono no solo devido ao sistema radicular. No presente estudo observou-se teores de carbono da fração humina maior na MN em relação as áreas com pastagem (P3, P15, PP20 e P0). Estes resultados corroboram com aqueles obtidos por Marchiori e Melo (2000), que encontraram teores de carbono na fração humina maior na mata nativa do que nos demais sistemas de uso do solo. Com relação a fração ácidos fúlvicos os sistemas P0 e PP20 foram iguais a mata nativa, ficando P15 com os menores teores de ácidos fúlvicos em relação aos demais tratamentos, o qual não diferiu de M20. Na fração ácidos húmicos a MN que teve maior proporção de carbono nesta fração.

**Tabela 11-** Teores de carbono nas frações ácidos húmicos, fúlvicos e huminas na camada de 0-5cm de um Nitossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco animais.

Tratamento	Ácidos fúlvicos	Ácidos húmicos	Huminas	AH:AF
	----- g/kg -----			
M7	5,0 c	4,2 c	9,1 cd	0,86 abc
M20	4,0 de	3,6 c	9,4 abc	0,89 ab
P3	4,4 cd	3,9 c	8,9 d	0,90 ab
P15	3,6 e	2,1 d	9,0 d	0,59 d
PP20	6,3 ab	4,4 bc	9,2 bcd	0,69 cd
EM20	5,7 b	5,1 b	9,4 ab	0,89 ab
MN	6,5 a	6,8 a	9,7 a	1,03 a
P0	5,9 ab	4,3 bc	8,9 d	0,74 bcd
DMS	0,69	0,88	0,29	0,19
CV %	13,2	20,4	3,1	22,9

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. DMS: diferença mínima significativa; CV: coeficiente de variação. Letras na coluna comparam tratamentos pelo teste ( $P < 0,05$ ).

Quanto a relação AH:AF, detectou-se diferença significativa entre os sistemas de uso (Tabela 11). Apenas os tratamentos P0, P15 e PP20 tiveram valores diferentes da MN, os demais foram iguais a MN estatisticamente. Porém apenas a MN teve valor superior a 1, indicando que há predomínio de ácidos húmicos em relação a ácidos fúlvicos, apontando que o material orgânico é mais estável. Novamente o sistema P15 tem o menor valor da relação AH:AF, o qual indica menor estabilidade do material orgânico. Barreto et al, (2008) não observaram

diferenças entre MN e os demais sistemas de uso do solo ao avaliar a relação AH:AF. Já Leite et al., (2003) encontraram maior valor de AH:AF no solo sob floresta em relação ao solo sob sistemas de produção. A menor relação AH:AF foi observada no tratamento P15 em relação aos demais. Segundo Canellas et al. (2001), valores da relação AH:AF próximo a 1 confere maior equilíbrio entre as frações reativas da matéria orgânica do solo.

### 3.4 CONCLUSÃO

Os teores de carbono orgânico foram menores nas áreas cultivadas, comparativamente ao solo sob vegetação natural, fortalecendo a teoria de que o uso agrícola desencadeia o processo de degradação e perda de carbono. Tal variação foi confirmada pelo cálculo do índice de manejo do carbono IMC que foi baixo em todos os tratamentos com uso agrícola em relação à condição de MN.

A aplicação de fertilizantes orgânicos de suínos e aves não aumentou os teores de carbono orgânico do solo ao longo de vários anos de aplicação.

A fração particulada mostra-se sensível para evidenciar diferenças provenientes dos sistemas de uso e manejo do solo, bem como dos tempos de aplicação de dejetos animais. Enquanto a fração associada aos minerais manteve-se mais estável.

A determinação dos teores de carbono nas distintas classes se agregados estudadas não tiveram contribuição suficiente para avaliar estoque de carbono nos diferentes tamanhos de agregados maiores que 2,00 mm. Uma avaliação mais minuciosa com separação de agregados em classes menores que 2,00 mm poderá ter contribuição maior para estimar o estoque de carbono nos agregados.

## **4 CAPITULO II. APLICAÇÃO DE ESTERCOS DE ANIMAIS, ATRIBUTOS FÍSICOS E ARMAZENAMENTO DE ÁGUA EM UM NITOSSOLO VERMELHO SOB DIFERENTES USOS DO SOLO**

### **RESUMO**

O impacto do uso de dejetos suínos e cama de aves sobre o solo depende das condições de uso e das quantidades adicionadas. Neste estudo avaliou-se o efeito da aplicação de esterco de animais em diferentes tempos de aplicação e usos do solo sobre atributos físicos e o armazenamento de água de um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em Concórdia, SC. Os tratamentos abrangeram diferentes usos do solo com aplicação de dejetos suínos e cama de aves, a saber: milho para silagem (M7 anos); milho para silagem (M20 anos); pastagem de azevém (P3 anos); pastagem de azevém (P15anos); pastagem permanente (PP20 anos); erva mate (EM20 anos); mata nativa (MN) e pastagem nativa sem aplicação de dejetos (P0 anos). As amostras de solo foram coletadas nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20 cm. Avaliou-se os atributos físicos do solo, como densidade, porosidade, agregação, grau de flocculação, resistência a penetração e armazenamento de água através das curvas características de retenção de água no solo. Realizou-se o ensaio de Proctor para determinar valores de densidade máxima de compactação. O uso de esterco e os diferentes sistemas de uso do solo adotados reduziram o grau de flocculação das argilas e foi observada baixa macroporosidade em algumas áreas avaliadas. Apesar disso, observaram-se boas condições físicas ligadas à estrutura do solo, como densidade do solo e resistência à penetração abaixo dos valores críticos e alta estabilidade de agregados, o que é importante para reduzir a erosão hídrica nessas áreas de cultivo associadas à criação de suínos e aves em regiões de relevo acidentado do oeste catarinense. O uso do solo alterou as curvas de retenção de água do solo em relação a MN. O modelo de van Genuchten possibilitou ajuste das curvas de retenção de água com  $R^2$  que variou de 0,98 a 0,99. As áreas com aplicação de esterco tiveram maior retenção de água que MN nas tensões entre capacidade de campo e ponto de murcha permanente. A água disponível foi afetada pelos diferentes manejos aplicados ao solo, e sua quantidade ficou abaixo do ideal requerido pelas culturas.

**Palavras-chave:** Esterco de animais. Estrutura do solo. Armazenamento de água.

## 4.1 INTRODUÇÃO

A suinocultura e a avicultura são atividades agropecuárias características de pequenas e médias propriedades rurais de Santa Catarina, com destaque para as regiões oeste e sul do Estado. Os esterco vêm sendo tradicionalmente utilizados em áreas agrícolas, especialmente por influenciar de forma benéfica aspectos biológicos e químicos do solo, especialmente pela carga de nutrientes adicionada ao solo (QUEIROZ et al., 2004). Deve-se também destacar que a adição de resíduos orgânicos é fundamental para ciclagem do carbono no solo, o que pode melhorar sua qualidade física (BRANCALIÃO e MORAIS, 2008). Nesse caso, a principal característica física do solo relacionada à dinâmica do carbono orgânico é a agregação, que indiretamente influi na densidade, porosidade, capacidade de retenção e infiltração de água, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo (SILVA et al., 2006).

Em solo alagado cultivado com arroz na Coreia, observou-se incremento nos teores de carbono orgânico e melhoria em atributos físicos, evidenciada pela redução na densidade do solo e pelo aumento na quantidade de agregados de maior tamanho, em decorrência da aplicação de compostos orgânicos após 41 anos de avaliação, quando comparado ao uso de adubos minerais e ao tratamento controle sem fertilizantes (LEE et al., 2009). Ressalta-se que a matéria orgânica tem efeito positivo sobre a formação e estabilização de agregados (TISDALL e OADES, 1982), o que é particularmente importante em solos sujeitos à degradação pelo preparo periódico, bem como, para atenuar os efeitos do aumento da resistência mecânica em áreas manejadas sob semeadura direta (MOSADDEGHI et al., 2009).

Os efeitos dos esterco de animais sobre os atributos físicos do solo são dependentes das quantidades e tipos de materiais utilizados e podem variar conforme o tipo de solo e do manejo adotado. Bhattacharyya et al. (2007) verificaram que o uso de fertilizantes orgânicos aumentou os teores de carbono orgânico de um solo com textura franco argilo arenosa, na região montanhosa do norte da Índia, o que esteve relacionado com a diminuição na densidade do solo e aumento na estabilidade de agregados. Tais melhorias físicas refletiram em maior capacidade de infiltração de água, comparativamente ao solo não adubado e ao tratamento com o uso de fertilizante mineral. Por outro lado, Costa et al. (2008) não observaram efeito de doses crescentes de cama de peru sobre a agregação de um Latossolo Vermelho de textura média, cultivado com pastagem de *Brachiaria decumbens*, em Uberlândia, MG. Mais recentemente, Mellek et al. (2010), trabalhando com doses crescentes de esterco líquido de bovinos leiteiros em um Cambissolo Háptico, derivado de arenito em

Ponta Grossa, PR, observaram melhorias estruturais no solo, como redução na densidade e aumento na macroporosidade, estabilidade de agregados e na taxa de infiltração de água.

A densidade do solo é afetada por cultivos que alteram a estrutura e, por consequência, o arranjo e volume dos poros. Essas alterações influem em propriedades físicas, tais como: a retenção de água no solo e disponibilidade de água às plantas (TORMENA et al., 1998).

A curva de retenção de água é essencial em estudos de qualidade do solo com vistas a nortear as práticas de uso e o manejo sustentável dos sistemas de produção agrícola. Modificações na estrutura do solo associadas à compactação e à perda da estabilidade dos agregados alteram a distribuição do tamanho dos poros, bem como a retenção, o movimento e a disponibilidade de água no solo (MACHADO et al., 2008).

Resultados positivos na redução da degradação dos solos têm sido obtidos mediante a aplicação de resíduos orgânicos de animais ao solo, por promoverem melhorias como a diminuição da densidade, aumento da porosidade e tamanho dos agregados (BARZEGAR et al, 2002; HATI et al., 2006; ZHAO et al., 2009; MELLEK et al., 2010), e em consequência pode-se ter influência positiva na retenção de água no solo.

O objetivo deste estudo foi avaliar as modificações das propriedades físicas e armazenamento de água de um Nitossolo Vermelho Eutroférico, com diferentes sistemas de uso do solo, com aplicação de esterco de suínos e aves.

## 4.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado em Concórdia, SC, em áreas selecionadas conforme uniformidade de relevo, profundidade, granulometria e cor do solo, próximas entre si, sendo o solo classificado como Nitossolo Vermelho Eutrófico.

O clima é classificado como mesotérmico subtropical úmido (Cfa) de acordo com a classificação de Köppen, sendo que os meses mais frios têm temperaturas médias acima de 10°C, e os meses mais quentes temperatura média acima de 23°C. A precipitação média anual é elevada, bem distribuídos ao longo do ano (SANTA CATARINA, 1991).

Os sistemas de uso do solo consistiram em áreas com diferentes formas de cultivo, recebendo aplicação de fertilizantes orgânicos a base de esterco de suínos e cama de aves, abrangendo oito tratamentos (Tabela 2).

Em cada área foram coletadas de forma sistemática oito amostras de solo, em dois transectos com pontos espaçados de 10 metros entre si. A amostragem foi realizada em

setembro de 2009, nas camadas 0-5; 5-10 e 10-20cm, em trincheiras de 20 x 20 cm. As amostras de solo com estrutura preservada foram coletadas em cilindros de aço com 5 cm de diâmetro e 2,5 cm de altura para as duas camadas superiores, e 5 cm de altura para a camada inferior. No entorno, foram coletadas com espátula amostras de torrões de solo, acondicionadas em sacos plásticos, para avaliação da estabilidade de agregados.

A densidade do solo ( $D_s$ ) foi determinada pelo método do anel volumétrico. A densidade de partículas ( $D_p$ ) foi determinada pelo método do balão volumétrico. O volume de bioporos e microporos foi determinado em mesa de tensão de areia à sucção de 1 e 6kPa, respectivamente. A porosidade total (PT) foi calculada pela razão entre a densidade do solo e a densidade de partículas ( $D_s/D_p$ ). A macroporosidade foi obtida pela diferença entre PT e microporosidade (EMBRAPA, 1997).

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta, determinando a argila total com dispersante NaOH e argila natural, dispersa em água. O grau de flocculação foi calculado mediante as quantidades de argila natural e total.

A estabilidade de agregados foi determinada por peneiramento úmido, em agregados entre 4,76 e 8,35mm, de acordo com a metodologia de Kemper e Chepil (1965), sendo o aparelho composto por quatro peneiras (4,75; 2,00; 1,00 e 0,25mm). A estabilidade dos agregados foi representada pelo diâmetro médio ponderado (DMP).

A resistência do solo à penetração foi avaliada nos anéis volumétricos, com umidade equilibrada na tensão correspondente a 6kPa, utilizando-se um penetrômetro de bancada Marconi, modelo MA-933, dotado de cone com 3,9mm de diâmetro, ângulo de ataque de 45° e velocidade de penetração de 1mm s<sup>-1</sup>. O valor de cada amostra correspondeu à média dos 40 valores determinados entre 6 e 45mm para os anéis de 5cm, e a média de 15 valores determinados entre 6 e 20mm para os anéis de 2,5cm.

Para o ensaio de Proctor as coletas foram realizadas de forma sistemática coletando-se 4 amostras por área e homogeneizando. O ensaio de Proctor foi utilizado para determinar valores de densidade máxima de compactação e a umidade crítica para compactação. Consistiu em compactação de amostras de solo com umidades crescentes, em um corpo de prova com três camadas, em um cilindro com volume de 1000cm<sup>3</sup> utilizando um soquete com massa de 2,6kg, aplicando 25 golpes por camada, deixando-o cair a uma altura de 30,5cm. Para obtenção das variáveis desejadas (densidade máxima e umidade crítica), procedeu-se o ajuste das curvas pela regressão quadrática com significância de 5% ( $p < 0,05$ ), derivando-se a equação para obter a umidade ótima.

A curva característica de água do solo foi determinada utilizando-se mesa de tensão de areia para os potenciais de 1, 6 e 10kPa e câmara de Richards com placas de cerâmica porosas para as tensões de 33, 100, 300, 500 e 1.500kPa, obtendo-se a umidade volumétrica presente em cada tensão aplicada. Para a construção da curva de retenção de água no solo de cada tratamento e suas profundidades utilizou-se o programa “Soil Water Retention Curve”(SWRC - DOURADO NETO et al., 1990), obtendo os parâmetros propostos no modelo de Van Genuchten (1980). A partir dos parâmetros procedeu-se um ajuste dos potenciais para obtenção das curvas, de acordo com a Equação 1, e considerando a umidade volumétrica saturada ( $\theta_s = \theta_{max.}$ ), com  $\psi_m = 0$  kPa, e umidade volumétrica residual ( $\theta_r = \theta_{min.}$ ), com  $\psi_m = -1.500$ kPa, empregando o programa Sigma Plot 10.0®.

$$\text{Equação 1: } \theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left(1 + (\alpha \psi_m)^n\right)^m}$$

onde,  $\theta$  umidade do solo ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_r$  = umidade volumétrica residual ( $m^3 m^{-3}$ );  $\theta_s$  = umidade volumétrica saturada ( $m^3 m^{-3}$ );  $\psi_m$  = potencial matricial (kPa);  $\alpha, n, m$  = parâmetros empíricos da equação.

O teor de água disponível para as plantas foi estimado pela diferença entre a umidade volumétrica na tensão de 10kPa, referido como capacidade de campo e 1.500kPa, considerado como ponto de murcha permanente (CARLESSO, 1995).

Os resultados foram submetidos à análise de variância pelo teste F considerando modelo entre grupos e dentro de grupos amostrais, avaliando os fatores de variação sistema de uso (aplicação de esterco líquido de suínos, cama de aves e uso do solo) e camada, com comparação de médias pelo teste “t” ( $p < 0,05$ ). Foram estimadas correlações de Pearson entre atributo do solo e umidade retida em cada potencial matricial.

### 4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os atributos físicos do solo foram afetados pelos diferentes tratamentos. A densidade do solo ( $D_s$ ) variou entre 0,81 a 1,34g  $cm^{-3}$  (Tabela 13). Milho com 7 e pastagem com 15 anos de aplicação de esterco suínos e cama de aves tiveram os maiores valores de  $D_s$ , especialmente na camada de 0 a 5cm. Isso pode estar relacionado ao sistema de preparo do solo, pois o milho com 7 anos de aplicação de fertilizantes orgânicos, foi manejado sob semeadura direta, que progressivamente pode resultar em compactação superficial do solo, ligada ao tráfego de máquinas e implementos na superfície do solo, associada ao período de

pousio que o solo fica durante o inverno, o qual não tem presença de raízes que poderia auxiliar na redução da densidade. A maior densidade do solo em áreas sob semeadura direta em relação ao preparo convencional foi também verificada por Bertol et al. (2000) avaliando um Cambissolo Húmico sob diferentes sistemas de manejo. Já para P15 a maior Ds pode ser atribuída ao pisoteio animal, em virtude do pastejo intenso da área, e em alguns momentos com umidade mais elevada em virtude da quantidade de animais que ocupa a área (30-40 cabeças). Os tratamentos que não tiveram pastejo animal, como PP20 e EM20 tiveram menor Ds na camada de 0-5cm. Nesta áreas, pode ter havido efeito benéfico do sistema radical, além da possível influência do incremento nos teores de carbono orgânico no solo, favorecendo a estruturação do solo. Nesse caso, foi observado correlação negativa ( $r = -0,71$ ) altamente significativa entre COT e Ds.

Mellek et al. (2010) aplicaram doses de esterco de bovino num Cambisol, e verificaram que com a aplicação de  $180\text{m}^{-3}\text{ha}^{-1}$  houve diminuição da densidade ( $1,32$  para  $1,17\text{g cm}^{-3}$ ) na camada de 0-5 cm, aumento na macroporosidade e no tamanho dos agregados. A aplicação de adubação mineral e orgânica em um Vertisol, na Índia, reduziu a densidade do solo na camada de 0 a 7,5cm de  $1,30\text{g cm}^{-3}$  no tratamento testemunha, para  $1,18\text{g cm}^{-3}$  no tratamento com doses crescentes de esterco suíno (HATI et al., 2006). Segundo os mesmos autores, a diminuição na densidade do solo pode estar relacionada ao papel da matéria orgânica, influenciando a porosidade do solo nos tratamentos com maior aplicação de resíduos orgânicos.

A PT variou de  $0,34$  a  $0,62\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , nas três camadas avaliadas (Tabela 13) e PP20 e MN foram os sistemas que apresentaram maior porosidade total, especialmente na camada de 0 a 5cm. Pagliai et al. (1983) observaram que a aplicação de esterco suíno, na dose de  $300\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ , aumentou a porosidade total, principalmente pela participação de poros maiores que 30micras de diâmetro, na camada superficial de um solo argilo-siltoso do norte da Itália.

A macroporosidade variou entre  $0,05$  e  $0,26\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , nas três camadas (Tabela 13). Observa-se que os valores de macroporos encontrados em PP20 e MN estão acima do nível crítico de  $0,10\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ , necessário para adequado fluxo de gases e para o movimento de água no solo, garantindo a oxigenação radical e a capacidade de infiltração e redistribuição de água no perfil do solo (REICHERT et al., 2003).

**Tabela 12** - Densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves em Nitossolo Vermelho Eutrófico.

Sistemas de uso	Camada			DMS <sup>(camada)</sup>	CV (camada)
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	<b>Densidade do solo ( g cm<sup>-3</sup>)</b>				%
<b>M7</b>	1,27 Aab	1,23 Abc	1,22 Aa	0,12	9,3
<b>M20</b>	1,24 ABbc	1,28 Aab	1,20 Bab	0,04	3,6
<b>P3</b>	1,18 Acd	1,22 Abc	1,14 Abc	0,10	8,1
<b>P15</b>	1,34 Aa	1,34 Aa	1,25 Ba	0,07	5,7
<b>PP20</b>	0,99 Be	1,11 Ad	1,14 Abc	0,06	5,6
<b>EM20</b>	1,15 Bd	1,28 Aab	1,21 Bab	0,06	5,2
<b>MN</b>	0,81 Af	0,97 Ae	1,02 Ad	0,09	10,1
<b>P0</b>	1,20 Abcd	1,18 Acd	1,10 Bc	0,06	5,3
DMS <sup>(sistema)</sup>	0,08	0,08	0,07		
CV <sup>(sistema)</sup> , %	7,1	6,9	6,3		
	<b>Porosidade total ( cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)</b>				%
<b>M7</b>	0,52 Ac	0,52 Abc	0,53 Ab	0,04	8,7
<b>M20</b>	0,50 Bc	0,49 Bc	0,53 Ab	0,02	4,1
<b>P3</b>	0,56 Ab	0,55 Aab	0,58 Aa	0,03	6,6
<b>P15</b>	0,35 Be	0,34 Be	0,39 Ad	0,04	11,6
<b>PP20</b>	0,62 Aa	0,58 Ba	0,57 Ba	0,02	3,5
<b>EM20</b>	0,41 Ad	0,37 Be	0,41 Ad	0,03	8,2
<b>MN</b>	0,59 Aab	0,52 Bbc	0,51 Bb	0,09	8,5
<b>P0</b>	0,40 Bd	0,42 Bd	0,46 Ac	0,03	8,0
DMS <sup>(sistema)</sup>	0,03	0,03	0,03		
CV <sup>(sistema)</sup> , %	7,9	7,3	6,9		
	<b>Macroporosidade ( cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)</b>				%
<b>M7</b>	0,097 Ac	0,090 Abc	0,078 Ab	0,040	43,5
<b>M20</b>	0,050 Ad	0,058 Ac	0,062 Ab	0,020	32,9
<b>P3</b>	0,090 Ac	0,085 Abc	0,095 Ab	0,036	38,6
<b>P15</b>	0,058 Acd	0,068 Ac	0,070 Ab	0,034	50,2
<b>PP20</b>	0,137 Ab	0,107 Abb	0,080 Ab	0,045	39,9
<b>EM20</b>	0,086 Acd	0,072 Ac	0,087 Ab	0,033	38,4
<b>MN</b>	0,261 Aa	0,221 Aba	0,182 Ba	0,061	26,2
<b>P0</b>	0,075 Ccd	0,108 Bb	0,155 Aa	0,027	22,9
DMS <sup>(sistema)</sup>	0,039	0,034	0,039		
CV <sup>(sistema)</sup> , %	36,3	33,6	37,8		
	<b>Microporosidade ( cm<sup>3</sup> cm<sup>-3</sup>)</b>				%
<b>M7</b>	0,427Bb	0,438Abb	0,453Ab	0,025	5,6
<b>M20</b>	0,457ABab	0,438Bb	0,471Aab	0,020	4,3
<b>P3</b>	0,471 <sup>a</sup>	0,471ab	0,486a	0,044 <sup>ns</sup>	8,9
<b>P15</b>	0,296ABd	0,276Bc	0,328Ac	0,036	11,5
<b>PP20</b>	0,487 <sup>a</sup>	0,477a	0,496a	0,041 <sup>ns</sup>	8,2
<b>EM20</b>	0,328cd	0,302c	0,323c	0,034 <sup>ns</sup>	10,2
<b>MN</b>	0,336c	0,303c	0,333c	0,033 <sup>ns</sup>	9,8
<b>P0</b>	0,323cd	0,311c	0,308c	0,044 <sup>ns</sup>	13,6
DMS <sup>(sistema)</sup>	0,035	0,036	0,031		
CV <sup>(sistema)</sup> , %	9,1	9,6	7,9		

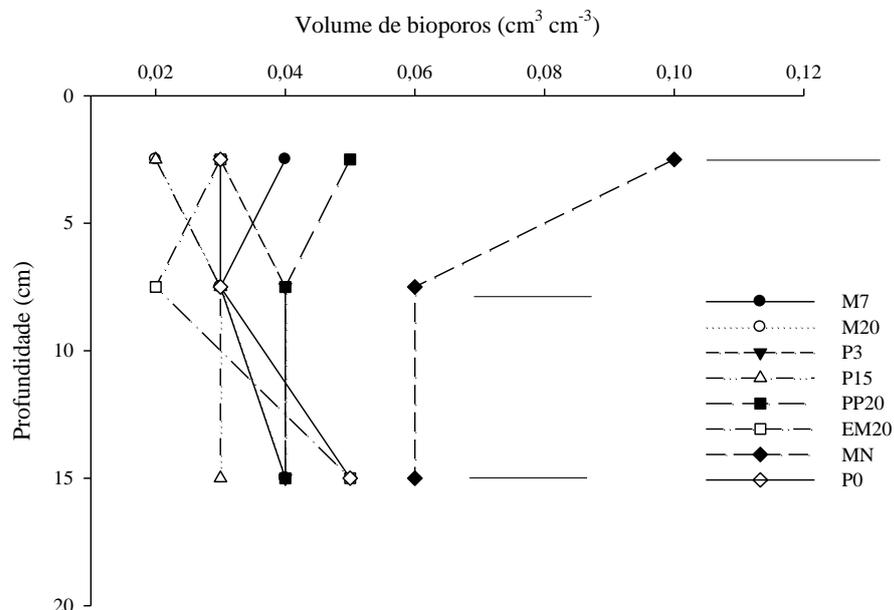
Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam camadas e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de uso, pelo teste t ( $p < 0,05$ ). DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação.

Entre as áreas sob utilização agrícola, a pastagem permanente com 20 anos de aplicação de esterco apresentou os maiores valores de macroporosidade nas camadas de 0 a 10cm, acompanhando o que foi observado para a porosidade total do solo.

Os valores de microporosidade variaram entre  $0,20$  a  $0,44\text{cm}^3\text{ cm}^{-3}$  (Tabela 9) na média das três camadas analisadas. As áreas P3 e PP20 não diferiram entre si, e apresentaram os maiores valores de microporos.

Para os bioporos, o destaque ocorreu na mata nativa, com os maiores valores na média das três camadas analisadas. As áreas agrícolas tiveram baixos valores de bioporos (Figura 1). Deve-se salientar que esses poros de maior tamanho desempenham papel fundamental nas trocas hídricas e gasosas, e são dependentes do sistema radical das plantas e da atividade da fauna.

**Figura 1-** Volume de bioporos em Nitossolo Vermelho em diferentes tempos de aplicação de esterco de animais e sistemas de uso do solo.



Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata

nativa; P0: pastagem nativa. Barras horizontais indicam diferença mínima significativa entre os tratamentos na mesma profundidade pelo teste “t”.

Os valores de DMP variaram entre 4,83 a 6,08mm nas três camadas avaliadas (Tabela 14). Na camada de 0-5 cm, as áreas que recebem aplicação de fertilizantes orgânicos, exceto M7, não diferiram da área de mata nativa. Acredita-se que isso pode ser influenciado pelo cultivo de gramíneas nestas áreas, que por possuírem raízes abundantes atuam na agregação do solo, por ação mecânica e pela liberação de exsudados com ação cimentante. Além disso, este solo apresenta teores elevados de argila, o que, juntamente com o teor de C orgânico, confere elevada estabilidade de agregados. O solo estudado apresentou alta estabilidade de agregados, avaliada por peneiramento úmido. Na média das três camadas o diâmetro médio ponderado dos agregados de M7 foi 5,17mm, seguido de EM20 com 5,40 mm, os quais menores que os demais tratamentos, que tiveram DMP semelhante ao da mata nativa (5,76 mm) (Tabela 14).

**Tabela 13-** Diâmetro médio ponderado (DMP) dos agregados e grau de flocculação (GF) de Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e aves.

Sistemas de uso	Camada			DMS <sup>(camada)</sup>	CV <sup>(camada)</sup>
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	<b>Diâmetro médio ponderado ( mm)</b>				%
<b>M7</b>	5,28 Ac	5,17 Ac	5,06 Abc	0,58	10,9
<b>M20</b>	5,78 Ab	5,75 Aab	5,58 Aa	0,27	4,6
<b>P3</b>	6,08 Aa	5,76 Bab	5,78 Ba	0,20	3,3
<b>P15</b>	5,78 Abb	5,88 Aa	5,61 Ba	0,17	2,9
<b>PP20</b>	5,88 Ab	5,62 ABab	5,50 Bab	0,36	6,1
<b>EM20</b>	5,90 Ab	5,46 Abc	4,83 Bc	0,50	8,9
<b>MN</b>	5,80 Aab	5,82 Aa	5,68 Aa	0,23	3,8
<b>P0</b>	5,72 Ab	5,82 Aa	5,42 Aab	0,51	8,7
DMS <sup>(sistema)</sup>	0,33	0,31	0,45		
CV <sup>(sistema)</sup>	5,7	5,5	8,3		
	<b>Grau de flocculação ( %)</b>				%
<b>M7</b>	45 Bc	45 Bcd	50 Ab	2,4	4,9
<b>M20</b>	46 Ac	42 Acd	40 Ac	8,3	18,4
<b>P3</b>	57 Bb	60 Aba	63 Aa	4,9	7,8
<b>P15</b>	38 Ad	38 Ad	42 Ac	5,7	13,7
<b>PP20</b>	45 Ac	41 Acd	43 Ac	7,4	16,3
<b>EM20</b>	35 Bd	47 Ac	53 Ab	10,9	23,1
<b>MN</b>	69 ABa	71 Aa	64 Ba	7,1	9,9
<b>P0</b>	58 Bb	63 ABb	67 Aa	8,2	12,5
DMS <sup>(sistema)</sup>	6,8	7,2	7,0		
CV <sup>(sistema)</sup>	13,6	13,9	13,1		

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam camadas e letras minúsculas na coluna

comparam sistemas de uso, pelo teste t ( $p < 0,05$ ). DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação.

O alto DMP também foi observado por Arruda et al. (2010) em estudo com aplicação de doses crescentes de esterco suíno num Latossolo Vermelho, em Campos Novos, SC. A alta estabilidade dos agregados está ligada à presença de grande quantidade de radicais orgânicos na matéria orgânica do solo, que interagem com a superfície dos colóides minerais (TISDALL e OADES, 1982), além da textura muito argilosa e dos altos teores de ferro desses solos formados a partir de basalto.

O grau de flocculação de argila (GF) manteve-se entre 35 e 71%. A área de mata nativa apresentou os maiores valores de GF, especialmente na camada de 0 a 5 cm. As áreas de pastagem (P15 e PP20), milho (M7 e M20) e erva mate tiveram baixo grau de flocculação, e não se diferenciaram entre si (Tabela 14). Houve correlação positiva entre GF e carbono orgânico total ( $r = 0,51$ ), indicando influência dos compostos orgânicos presentes na matéria orgânica oriunda dos fertilizantes orgânicos influenciando as cargas na superfície dos colóides (SIQUEIRA et al., 1990).

A resistência do solo ao penetrômetro (RP) variou de 267kPa a 2580kPa (Tabela 15) e teve correlação positiva com a Ds ( $r = 0,61$ ), fato também observado por Collares et al., (2006), analisando atributos físicos num Argissolo. Barbosa et al. 2007, testaram doses de lodo de esgoto urbano aplicado num Latossolo Vermelho Eutroférico e verificaram que a aplicação anual de 12Mg ha<sup>-1</sup>, durante o período de dois anos reduziu a RP e a Ds, e aumentou a PT do solo.

A área de mata nativa apresentou a menor resistência à penetração nas três camadas. Dentre os sistemas de manejo, os maiores valores de RP na camada de 0-5cm, ocorreram nas áreas de milho com 7 e 20 anos. Segundo Taylor e Gardner (1963), o valor de 2000kPa é considerado como crítico para o desenvolvimento das raízes das plantas, assim M7 e M20 estariam com valores de resistência próximo ao crítico na camada de 0-5 cm, seguindo essa condição para a camada de 5-10cm.

Os altos valores de RP na camada superficial nas áreas com milho podem ser relacionados à exportação de grande parte da biomassa vegetal, destinada à silagem, o que reduz a cobertura do solo e favorece o adensamento do solo. Nas áreas de pastagem os valores de RP foram baixos na camada superficial, indicando que nem sempre o pisoteio animal acarreta níveis críticos de resistência.

**Tabela 14-** Resistência do solo à penetração determinada no potencial matricial de 6 kPa num Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves.

Sistemas de uso	Camada			DMS <sup>(camada)</sup>	CV <sup>(camada)</sup>
	0-5 cm	5-10 cm	10-20 cm		
	<b>Resistência à penetração ( kPa)</b>				%
<b>M7</b>	2020 Aa	1903 Abc	1732 Abc	301	15,3
<b>M20</b>	2064 Aa	2224 Aabc	1772 Ab	653	30,2
<b>P3</b>	1074 Bb	1803 Acd	1393 Bcd	371	25,0
<b>P15</b>	1243 Cb	2236 Aab	1659 Bbc	329	18,5
<b>PP20</b>	1009 Bb	1442 Ad	1699 Abc	303	21,0
<b>EM20</b>	998 Bb	2214 Aabc	2580 Aa	535	26,8
<b>MN</b>	267 Cc	729 Be	1054 Ad	242	34,0
<b>P0</b>	1406 Cb	2599 Aa	2008 Ab	448	21,5
DMS <sup>(sistema)</sup>	409	426	362		
CV <sup>(sistema)</sup> , %	32,9	22,4	20,7		

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Letras maiúsculas na linha comparam camadas e letras minúsculas na coluna comparam sistemas de uso, pelo teste t ( $p < 0,05$ ). DMS: Diferença mínima significativa; CV: Coeficiente de variação.

Na área com erva mate o maior valor de RP na camada de 10 a 20cm pode ser explicado pelo tráfego de máquinas, que ocorre sempre no mesmo local, entre as linhas de cultivo de erva mate durante os 20 anos de aplicação.

A manutenção de boas condições físicas do solo é fundamental nessas áreas agrícolas do oeste catarinense, especialmente por serem situadas em regiões com relevo acidentado, que favorece o escoamento superficial, intensificando a erosão hídrica. Deve-se priorizar a cobertura do solo, mediante alta adição de biomassa ao solo e com plantas eficientes na agregação do solo visando garantir a capacidade de infiltração de água (VOLK e COGO, 2008).

A figura 2 demonstra as curvas obtidas com o ensaio de Proctor, o qual determina a relação existente entre a densidade, umidade e energia de compactação de um solo com estrutura alterada (BUENO e VILAR, 1998).

Hakansson (1990), tendo como base, resultados de mais de 100 experimentos em diferentes tipos de solo, conclui que a densidade relativa ótima à produtividade de diversas culturas corresponde a 0,87. Diante disso, levando em consideração este valor de densidade relativa como indicador de qualidade do solo observa-se que os tratamentos PP20 na profundidade de 0-10cm, MN de 0-10 e 10-20cm e P0 de 10-20cm não apresentaram compactação crítica, capaz de prejudicar o desenvolvimento radicular (Tabela 16). Por outro

lado Carter (1990), obteve máximo rendimento de cereais quando a densidade relativa se manteve entre 0,77 e 0,84. No entanto, o mesmo autor destacou que somente 68,6% do rendimento das culturas foi atribuído à compactação relativa, indicando a interferência de outros fatores no rendimento das culturas. Entre os fatores que podem ser associados a este resultado, destacam-se a baixa densidade do solo a campo e os teores de carbono orgânico.

**Tabela 15-** Densidade máxima (Dmax), densidade do solo (Ds) e densidade relativa obtida pelo ensaio de Proctor em um Nitossolo Vermelho Eutrófico, em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves.

Tratamento	Dmax (g cm <sup>-3</sup> )	Ds (g cm <sup>-3</sup> )	DR
----- Profundidade 0-10 cm-----			
M7	1,38	1,25	0,91
M20	1,28	1,26	0,98
P3	1,29	1,20	0,93
P15	1,36	1,34	0,99
PP20	1,27	1,05	0,83
EM20	1,23	1,21	0,98
MN	1,23	0,89	0,72
P0	1,32	1,19	0,90
----- Profundidade 10-20 cm-----			
M7	1,34	1,22	0,91
M20	1,30	1,21	0,93
P3	1,28	1,14	0,89
P15	1,39	1,25	0,90
PP20	1,28	1,15	0,90
EM20	1,29	1,21	0,94
MN	1,31	1,03	0,79
P0	1,41	1,10	0,78

Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa.

Para MN, os elevados teores de carbono orgânico total são os responsáveis pela baixa densidade do solo a campo. Já os tratamentos P0 na camada de 10-20cm e PP20 na camada de 0-10cm, tiveram densidades iniciais menores, não havendo dependência entre matéria orgânica e densidade relativa. Para M7 e M20 observam-se valores elevados de densidade relativa. O intenso tráfego de máquinas reduz o espaço poroso do solo, em consequência a densidade do solo apresenta-se maior.

Nas áreas ocupadas com pastagens (P3 e P15), a carga animal é o agente compactador, com maior impacto pela alta carga animal utilizada. Neste sentido os maiores riscos de compactação ocorreriam quando o pastejo e o pisoteio coincidirem com o solo em umidade correspondente ao ponto ótimo ou crítico de compactação o que variou para cada condição de

uso (Figura 2).

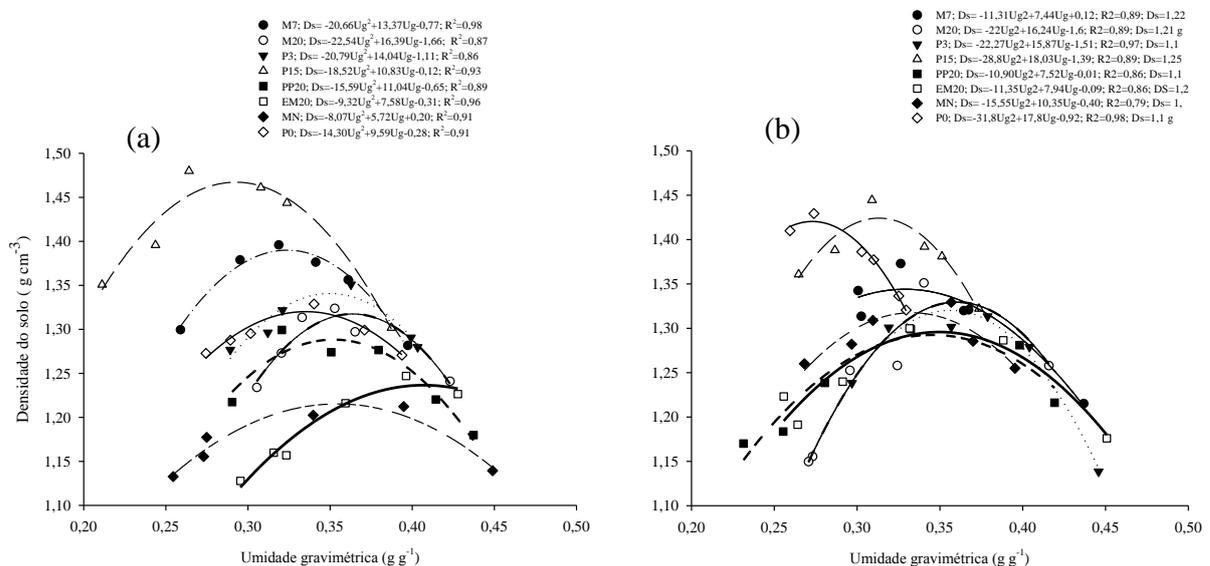
Há um decréscimo na DR comparando a profundidade de 0-10 com 10-20cm, observado na tabela 12, e verificado no ensaio de compactação (Figura 2), onde a densidade máxima decresce em profundidade.

O tratamento erva mate com 20 anos de aplicação de esterco de animais sofre tráfego de máquinas esporadicamente, porém concentrado nas entrelinhas, o que resulta em altas densidades do solo a campo.

As formas de manejo e preparo do solo tem grande influência nas densidades relativas, pois o não revolvimento do solo acarreta em um aumento na densidade do solo a campo. Em EM20 e PP20, observa-se que a umidade ótima para compactação encontra-se em valores altos (Figura 2), mostrando que é possível o manejo do solo com maior umidade.

Na área com o tratamento P0 na profundidade de 0-10cm, a carga animal aliada ao tipo de cultura e a não aplicação de esterco de animais em superfície justifica tais resultados.

**Figura 2-** Comportamento do solo para o ensaio de Proctor Normal, em Nitossolo Vermelho, para tratamentos com diferentes anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves e usos do solo, em duas profundidades: 0-10cm (a) e 10-20cm (b).



Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa.

De acordo com Braida et al., (2006) a susceptibilidade do solo à compactação, avaliada pelo ensaio de Proctor, torna-se menor no solo com mais matéria orgânica. Quanto maior o teor de matéria orgânica do solo, menor é a densidade máxima obtida. Isso se deve principalmente ao efeito amortecedor da matéria orgânica, a qual absorve parte da energia de compactação produzida pelo trânsito de máquinas e pelo pisoteio dos animais que transitam sobre os solos (FIGUEIREDO et al. 2000; BAYER et. al. 2009), bem como pelo efeito agregador da matéria orgânica (VEZZANI & MIELNICZUK, 2011). Além disso, a baixa densidade da matéria orgânica favorece a redução da densidade do solo (ZHANG et. al., 1997).

Os sistemas de manejo alteraram as curvas de retenção de água no solo nas três camadas estudadas. Houve interação entre camadas e entre tratamentos para retenção de água nas diferentes tensões aplicadas (Tabela 17). Klein e Libardi (2002), também observaram alterações na curva de retenção de água ao avaliar diferentes usos e manejos de um Latossolo Vermelho.

**Tabela 16-** Resultado da análise de variância, com valores de  $P>F$ , para efeito de sistema de uso, camada e interação (sistema de uso x camada) na água retida ao solo em áreas sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves, num Nitossolo Vermelho Eutrófico.

	Potenciais matricial (kPa)								
	0	1	6	10	33	100	330	500	1500
Trat	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Profundidade	0,5927	0,0233	0,4901	0,7524	0,7047	0,5096	0,0056	<0,0001	<0,0001
Interação	0,0012	0,0117	0,0204	0,0083	0,0006	0,0003	0,0020	<0,0001	<0,0001

O tempo de aplicação de esterco não se mostrou como único fator responsável pelas diferenças encontradas na retenção de água, pois a umidade volumétrica retida em um mesmo potencial foi igual em tratamentos que recebem esterco durante 20 e durante 3 anos (Figura 3). Assim a dinâmica da água se revela mais afetada pelo uso do solo em relação a aplicação de esterco.

A retenção de água em condições de solo saturado foi maior na MN em relação aos demais tratamentos nas três camadas avaliadas (Figura 3). Estes resultados condizem com a maior macroporosidade também observada na MN nas três camadas e aos teores de COT também maiores na MN em todas as profundidades. A retenção de água no menor potencial (saturado) teve correlação positiva com macroporosidade ( $r=0,80$ ) e com teores de COT ( $r=0,64$ ).

A umidade retida no solo na profundidade de 0-5cm, sob solo saturado foi  $0,107\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  maior na MN em relação a M7 (tratamento com menor umidade volumétrica), enquanto na tensão de 10kPa, assumido como capacidade de campo (CC) e no PMP, os valores de umidade na MN foram  $0,075$  e  $0,078\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  respectivamente menores do que EM20 (tratamento com maior umidade volumétrica nas tensões 10 e 1500kPa). Isso indica que as alterações na porosidade e estrutura do solo foram mais acentuadas na porosidade responsável pelo movimento rápido da água no solo do que em relação a porosidade responsável pela retenção de água.

Na profundidade de 5-10cm a MN tem a maior retenção de água do que os demais tratamentos no maior potencial (Figura 3). No potencial 10kPa, o tratamento que tem o menor volume de água retido é MN seguido de PP20, devido ao maior volume de macroporos (RAUBER et al., 2012) que este tratamento tem em relação aos demais tratamentos, exceto MN. Os demais tratamentos têm volume de água que varia de  $0,516$  a  $0,544\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$  de água retida. Na tensão de 1500kPa (PMP), a MN mantém a condição reter menor volume de água em relação aos demais tratamentos. O volume de água retido na CC e PMP tem correlação negativa com a macroporosidade, com valores de  $r = -0,58$  e  $r = -0,70$ , respectivamente. Isso indica que quanto maior a tensão aplicada menor o efeito da macroporosidade na retenção de água, enquanto a microporosidade tem correlação positiva com a retenção de água no PMP ( $r=0,25$ ).

A retenção de água na capacidade de campo mostrou correlação negativa com teores de COT ( $r=-0,35$ ). Esses resultados indicam a importância da macroporosidade na retenção de água na condição de solo saturado. Já a correlação negativa entre COT e retenção de água na CC corrobora com as citações de Braida et al. (2011) que relatam efeito da matéria orgânica do solo sobre a disponibilidade de água às plantas. Esses autores discutem que os resultados obtidos em muitos estudos são contraditórios, atribuindo isto aos diferentes métodos para avaliar a relação existente entre essas duas variáveis, além do que a dificuldade em isolar os efeitos dos fatores que determinam a disponibilidade de água como a textura, mineralogia, estrutura e solutos. Alguns estudos mostram que o aumento no teor de MO não modifica, ou ainda, que pode diminuir a disponibilidade de água no solo.

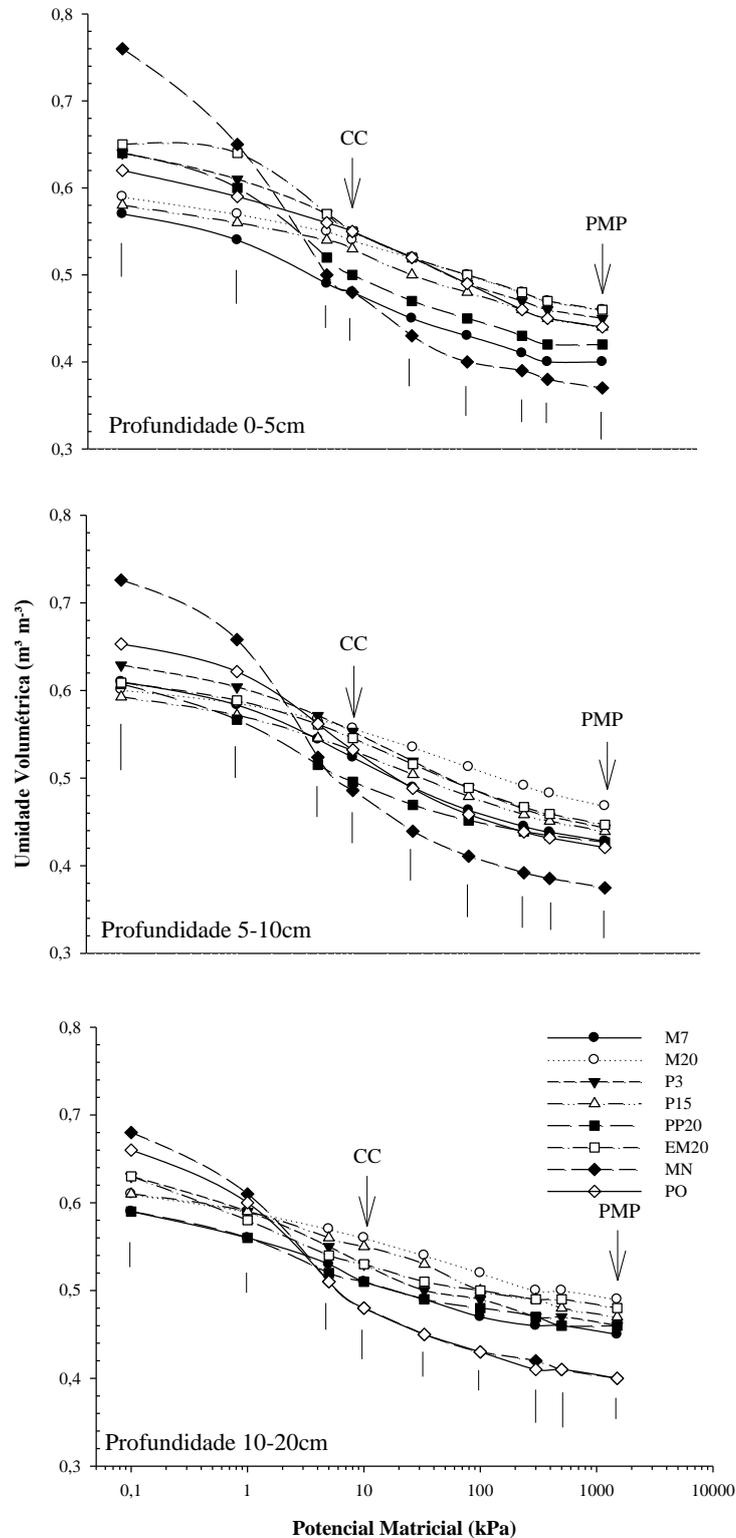
Na camada de 10-20cm MN, P0 e M7 tiveram volumes de água retidos iguais na condição de solo saturado. Na CC PP20, MN e P0 tem os menores volumes de água retida em relação aos demais tratamentos (Figura 3).

O armazenamento de água na capacidade de campo (10kPa) teve comportamento igual nas três profundidades estudadas para todos os tratamentos, com exceção de M7 que teve aumento no volume de água armazenada com aumento da profundidade. O tratamento M7 também teve maior teor de carbono na camada 10-20cm (RAUBER et al., 2012), o que pode contribuir para o maior armazenamento de água em profundidade.

Com relação ao potencial que representa o ponto de murcha permanente (PMP), 1500kPa, somente os tratamentos M20, P3 e P0 tiveram volumes de água retido igual nas três profundidades, os demais tratamentos tiveram aumento na quantidade de água retida conforme aumentou a profundidade. Avaliando a diferença de umidade volumétrica entre os tratamentos na tensão 1500kPa, é possível observar que na profundidade de 0-5cm houve diferença de  $0,078\text{m}^3\text{ m}^{-3}$  entre os tratamentos que retêm mais água (P0, EM20, P3, M20) em relação à MN (condição que retém menos água). Na camada 5-10 cm essa variação foi de  $0,092\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ , ocorrendo maior diferença entre M20 e MN, e na camada mais inferior a variação foi de  $0,099\text{m}^3\text{ m}^{-3}$ . Estes dados mostram que nas camadas mais inferiores do solo a diferença entre os volumes de água retidos são maiores. Estes resultados podem ser atribuídos as diferenças encontradas na microporosidade e nos teores de argila destes tratamentos. Sendo que macroporosidade teve correlação negativa com a retenção de água no PMP ( $r=-0,70$ ) e teor de argila teve correlação positiva no PMP ( $r=0,46$ ). Nos potenciais mais baixos a retenção de água é afetada pela composição granulométrica e a mineralogia do solo, de acordo com a superfície disponível para a adsorção de água (GUPTA e LARSON, 1979).

Na figura 3 estão dispostas as curvas de retenção de água nas três camadas avaliadas. As variações observadas entre as curvas de retenção podem estar relacionadas à estrutura e composição dos materiais em termos de matéria orgânica e argila, os quais determinam as alterações na quantidade e distribuição de poros (SILVA et al., 2005). Assim, a compactação provocada pelo uso de máquinas ou pisoteio animal pode ocasionar drástica redução na macroporosidade (SILVA et al., 1986), porém, com maior volume de microporos e maior capacidade de armazenamento de água (BERTOL e SANTOS, 1995). Por outro lado, valores de macroporosidade muito elevados podem prejudicar a retenção de água pelo solo, conforme detectado por Klein e Libardi (2000) em condições de mata nativa.

**Figura 3** - Curvas de retenção de água no solo ajustadas pelo modelo de Van Genuchten (1980), nos diferentes sistemas de manejo e profundidade estudadas em Nitossolo Vermelho.



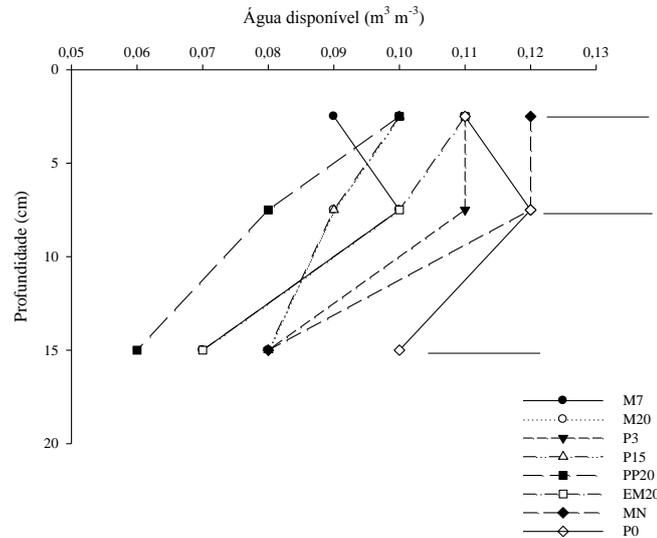
Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata

nativa; P0: pastagem nativa. Barras verticais indicam diferença mínima significativa entre os tratamentos no mesmo potencial matricial pelo teste “t”.

A água disponível (AD) considerada como o volume entre capacidade de campo (-10kPa) e o ponto de murcha permanente (-1500kPa), variou de 0,06 a 0,12m<sup>3</sup>m<sup>-3</sup>.(Figura 4 ), os quais estão abaixo da capacidade ideal de armazenamento de água no solo, que conforme sugerido por Reynolds et al. (2002), situa-se na faixa de 0,15 a 0,20m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>. Houve redução na quantidade de água disponível com aumento da profundidade. Segundo Braida et al., (2011), o efeito da matéria orgânica sobre a disponibilidade de água às plantas apresenta resultados contraditórios, sendo atribuído essa falta de correlação aos diferentes fatores que atuam na disponibilidade de água como textura, mineralogia, estrutura, solutos presentes no solo e a matéria orgânica. Jamison e Krott (1958), constataram o aumento de matéria orgânica no solo resultou em aumento na água disponível apenas em solos com teores de argila entre 13 e 20%. Nyamangara et al., (2001) observaram que o conteúdo de água disponível retido na tensão entre 5 e 1500kPa aumentou em média 0,015m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>, ao adicionarem esterco de gado por três anos seguidos em um solo com textura areia-franca e baixo teor de carbono orgânico, porém essa diferença não foi significativa estatisticamente. Estes autores atribuem esses resultados ao fato de as modificações sucedidas na retenção de água na CC e no PMP ocorrem em igual magnitude, e assim, a água disponível é pouco alterada.

De modo geral observou-se maior teor de água disponível nas camadas superficiais em relação a camada mais profunda, e isto pode resultar pelo aumento nos teores de argila em profundidade em todos os tratamentos, exceto M7 e P15 (dados não apresentados). Costa (1979) reporta que a influência da textura do solo é muito grande na retenção de água. Entretanto, solos da mesma classe textural podem ter curvas de retenção água diferentes, não só devido às diferenças de granulometria nas mesmas classes de textura, mas também, como resultado de diferenças no teor em matéria orgânica, tipo de argila, etc., e as diferenças de microestrutura criada de acordo com o manejo adotado. Carvalho et al., (1999) também observou maior retenção de água nas camadas mais profundas e atribuiu estes resultados ao maior teor de argila em profundidade em um Podzólico Vermelho Amarelo.

**Figura 4-** Conteúdo de água disponível em Nitossolo Vermelho Eutrófico, sob diferentes sistemas de uso e tempos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves.



Áreas estudadas: M7: milho com 7 anos de aplicação de esterco de suínos e cama de aves; M20: milho com 20 anos de aplicação; P3: pastagem anual com 3 anos de aplicação; P15: pastagem anual com 15 anos de aplicação; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação; EM20: erva mate com 20 anos de aplicação; MN: mata nativa; P0: pastagem nativa. Barras horizontais indicam diferença mínima significativa entre os tratamentos na mesma profundidade pelo teste "t" ( $p < 0,05$ ).

#### 4.4 CONCLUSÃO

Observou-se condições físicas favoráveis ligadas à estrutura do solo, como densidade do solo e resistência à penetração abaixo dos valores críticos e alta estabilidade de agregados, representada pelo DMP para os sistemas de uso agrícola com uso de esterco de suínos e aves. A densidade relativa obtida pelo teste de Proctor indicou valores altos em todos os sistemas estudados, com exceção da MN e PP20 na camada superficial e MN e P0 na camada inferior. Os valores acima de 0,90 são considerados críticos para o bom desenvolvimento das culturas. A maior densidade relativa foi observada em P15, isso pode ser um alerta para as condições físicas que o manejo desta área está resultando, pois associado aos menores teores de carbono orgânico e maior densidade a campo, este tratamento pode ser considerado o que apresenta solo em condições mais degradantes em relação aos demais.

O uso de esterco de animais e os diferentes usos do solo adotados reduziram o grau de floculação das argilas em relação à condição de mata nativa, e foi observada baixa macroporosidade na maioria das áreas cultivadas.

Os volumes de água disponível ficaram abaixo dos valores considerados ideais de acordo com a literatura em todos os tratamentos avaliados.

De modo geral as condições atuais do solo estudado, o qual é manejado de forma bastante comum entre os produtores de suínos e aves, se apresenta em condições físicas satisfatórias para o desenvolvimento das culturas. No solo estudado a adição de esterco de animais não altera a condição do solo ao nível de degradação física na maioria dos sistemas analisados.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo dos diferentes sistemas de cultivo e manejo do solo em Nitossolo Vermelho na região Oeste do estado de Santa Catarina permitiu avaliar as condições atuais de um solo, o qual recebe cultivos intensos de culturas anuais, pastagens e cultivos permanentes. A situação investigada é representativa das propriedades localizadas nesta região produtora de suínos e aves, com considerável expansão da pecuária de leite. Identifica, portanto, os efeitos conjuntos do uso e manejo do solo em condição real de produção.

Apesar de alguns atributos físicos avaliados serem considerados como críticos para o bom desenvolvimento das culturas, observou-se que a aplicação de esterco de acordo com o previsto pela legislação ambiental, associada a diferentes usos, evidencia que o solo ainda tem condições favoráveis para a continuidade das atividades agropecuárias.

Mesmo com aplicações contínuas de esterco, os teores de carbono orgânico foram menores nas áreas cultivadas, comparativamente ao solo sob vegetação natural, o que reforça a condição de perda da matéria orgânica em sistemas de cultivo em comparação à condição natural. A aplicação de esterco de animais não aumentou os teores de carbono orgânico do solo ao longo de vários anos de aplicação na condição estudada.

As condições físicas avaliadas permitiram concluir que o solo amostrado tem alta estabilidade de agregados indicada pelo alto diâmetro médio ponderado avaliado. Esse resultados permitem inferir que o solo investigado resiste às diferentes formas de manejo mantendo atributos físicos importantes para manutenção da produtividade sob condições satisfatórias para desenvolvimento das plantas.

Estudos que avaliam condições reais de uso do solo são de extrema importância para a Ciência do Solo, visto que a observação de situações autênticas da agricultura possibilita verificar seu efeito conjunto sobre atributos do solo. Embora estudos observacionais de condições reais levantem questionamentos relacionados aos princípios de experimentação, esses contribuem para caracterizar situações comuns de grande expressividade na área das ciências agrárias.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

ACCS, Associação Catarinense de Criadores de Suínos. **Relatório anual**, 2011.  
[http://www.accs.org.br/editar/arquivos/editar\\_relatorios/Relatorio2011%20OK.pdf](http://www.accs.org.br/editar/arquivos/editar_relatorios/Relatorio2011%20OK.pdf).  
 Acessado em: 06/11/2012.

ADISCOTT, T. M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, vol 46, 161:168, 1995.

AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; ELTZ, F.L.F. & BRUM, A.C.R. Potencial de culturas de cobertura em acumular carbono e nitrogênio no solo no plantio direto e a melhoria da qualidade ambiental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 25:189-197, 2001.

AMADO, T. J. C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P. C. et al. Potential of carbon accumulation in no-till soils with intensive use and cover crops in southern Brazil. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v.35, n.4, p.1599-1607, 2006.

ANDREUX, F. Humus in World Soils. In: PICCOLO, A. (Ed.) **Humic Substances in Terrestrial Ecosystems**. Amsterdam: Elsevier, 1996. p.45-100.

ANGERS, D. A.; CARON, J. Plant-induced changes in soil structure: processes and feedbacks. **Biogeochemistry**, v. 42:55-72. 1998.

ARAÚJO, M.A.; TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. Propriedades físicas de um Latossolo Vermelho distrófico cultivado e sob mata nativa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, p.337-345, 2004.

ARCHER, J.R.; SMITH P.D. The relation between bulk density available water capacity, and air capacity of soils. **Journal of Soil Science**. London, v.23, n.4, p.475-480, 1972.

ARRUDA, C. A. O. et al. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um latossolo vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 4, p. 804-809, 2010.

BARILLI, J. Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Botucatu, 2005, 120p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP.

BALESDENT, J.; CHENU, C. e BALABANE, M. Relationship of soil organic matter dynamics to physical protection and tillage. **Soil & Tillage Research**, v. 53, p.215-230, 2000.

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

BALESDENT, J. et al. The dynamics of carbon in particle size fractions of soil in a forest cultivated sequence. **Plant & Soil**, v. 201, p. 49–57, 1998.

BANGER, K.; KUKAL, S.S.; TOOR, G.; SUDHIR, K.; HANUMANTHRAJU, T.H. Impact of long-term additions of chemical fertilizers and farm yard manure on carbon and nitrogen sequestration under rice-cowpea cropping system in semiarid tropics. **Plant Soil**, v. 318, p.27–35, 2009.

BARBOSA, G.M.C.; FILHO, J.T. e FONSECA, J.C.B. Efeito do lodo de esgoto em propriedades físicas do solo de um Latossolo Vermelho eutroférico. **Semina: Ciências Agrárias**, 28:65-70, 2007.

BARILLI, J. Atributos de um latossolo vermelho sob aplicação de resíduos de suínos. Botucatu, 2005, 120p. **Tese** (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrônomicas UNESP.

BARRETO, A. C. et al. Fracionamento químico e físico do carbono orgânico total em um solo de mata submetido a diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 32, p.1471-1478. 2008.

BARZEGAR, A.R.; YOUSEFIL, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant & Soil**, v.247, p.295-301, 2002.

BAUMGARTL, T. e HORN, R. Effect of aggregate stability on soil compactin. **Soil & Tillage Research**, v 19, p.203-213, 1991.

BAYER, C.; AMADO, T. J. C.; TORNQUIST, C. G.; CERRI, C. E. P.; DIECKOW, F.; ZANATTA, J. A.; NICOLOSO, R. S.; CARVALHO, P. C.F. Estabilização do carbono no solo e mitigação das emissões de gases de efeito estufa na agricultura conservacionista. In: **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.1, p.55-117, 2011.

BAYER, C.; BISSANI, C.A.; ZANATA, J.A. Química de solos em plantio direto. In. FONTOURA, S. M. V. e BAYER, C. **Manejo e fertilidade de solos em plantio direto**. 2 ed. Guarapuava, PR. Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária, 2009, 232p.

BAYER, C. ; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In:SANTOS, G. de A.(Ed).. et al.**Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2 ed rev e atual. – Porto Alegre:Metropole, 2008.p 7:18.

BAYER, C. et al. Carbon sequestration in two Brazilian Cerrado soils under no-till. **Soil & Tillage Research**, v.86, p.237-245, 2006.

BAYER, C. et al. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, v. 238, p.133-140, 2002.

BAYER, C. et al. Changes in soil organic matter fractions under subtropical no-till cropping systems. **Soil Science Society of America Journal**, v. 65, p.1473-1478, 2001.

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. e MARTIN-NETO, L. Efeito de sistemas de preparo e de cultura na dinâmica da matéria orgânica e na mitigação das emissões de CO<sub>2</sub>. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, p.599-607, 2000.

BAYER, C. et al. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v. 54, p.101-109, 2000.

BAYER, C. e MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G.A. & CAMARGO, F.A.O. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Genesis, 1999. p.1-26.

BAYER, C. Dinâmica da matéria orgânica em sistemas de manejo de solos. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1996. 241p. (tese de doutorado)

BENITES, V.M.; MÁDARI, B. e MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado e de baixo custo. Rio de Janeiro, Embrapa, 2003. 7p. (Comunicado Técnico, 16)

BERTOL, I. et al. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico Álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, v. 30, 91-95, 2000.

BERTOL, I.; SANTOS, J.C.P. Uso do solo e propriedades físico-hídricas no Planalto Catarinense. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.30, p.263-267, 1995.

BHATTACHARYYA, R. et al. Long-term farmyard manure application effects on properties of a silty clay loam soil under irrigated wheat-soybean rotation. **Soil & Tillage Research**, v.94, p.386-396, 2007.

BLAIR, N., CROCKER, G.J. Crop rotation effects on soil carbon and physical fertility of two Australian soils. **Australian Journal of Soil Research**, v.38, p.71-84, 2000.

BLAIR, G.J.; LEFROY, R.D.B. e LISLE, L. Soil carbon fractions based on their degree of oxidation, and the development of a carbon management index for agricultural systems. **Australian Journal Agriculture Research**, v.46, p.1459-1460, 1995.

BOLINDER, M. A.; ANGERS, D. A.; GIROUX, M.; LAVERDIERE, M. R. Estimating C inputs retained as soil organic matter from corn (*Zea mays* L.). **Plant & Soil**, v.215, p.85-91, 1999.

BRAIDA, J. A.; BAYER, C.; ALBUQUERQUE, J. A.; REICHERT, J. M. Matéria orgânica e seu efeito na física do solo. In: KLAUBERG FILHO, O.; MAFRA, A.L.; GATIBONI, L.C. **Tópicos em ciência do solo**, v.1. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2011.

BRAIDA, J.A. et al. Resíduos Vegetais na superfície e carbono orgânico do solo e suas relações com a densidade máxima obtida no ensaio proctor. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p.605-614, 2006.

BRANCALIÃO, S.R.; MORAES, M.H. Alterações de alguns atributos físicos e das frações húmicas de um Nitossolo Vermelho na sucessão milho-soja em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, p.393-404, 2008.

BRONICK, C. J. e LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**. Amsterdam, v.32, p.111-113, 1973.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M. **Mecânica dos solos**. São Carlos: EESC-USP, 1998. 131p.

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

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

CAMPOS, B. C. et al. Carbon stock and its compartments in a subtropical oxisol under long-term tillage and crop rotation systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.35, p.805-817, 2011.

CANELLAS, L.P. et al. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adição de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36:1529-1538, 2001.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus água extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.25, n.1, p.83-188, 1995.

CARTER, M. R. Organic matter and sustainability. In: REES, R. M. ; BALL, B. C.; CAMPBELL, C. D.; WATSON, C. A. (Ed). **Sustainable management of soil organic matter**. New York: Cabi, 2001. p 9:22.

CARTER, M.R. Relative measures of soil bulk density to characterize compaction in tillage studies of fine loamy sands. **Canadian Journal Soil Science**,v.70, p.113-139, 1990.

CARVALHO, E. J. M.; FIGUEIREDO, M. de S.; COSTA, L. M. da. Comportamento físico-hídrico de um podzólico vermelho-amarelo câmbico fase terraço sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.34, n.2, p.257-265, fev. 1999.

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

CHENU, C.; HASSINK, J.; BLOEM, J. Short-term changes in the spatial distribution of microorganisms in soil aggregates as affected by glucose addition. **Biology Fertility of Soils**, v.34, p.349-356, 2001.

CHRISTENSEN, B.T. **Organic matter in soil: structure, function and turnover**. Tjele:Dias, 2000. 95p (Dias Report. Plant Production, 30).

CLAPP, C. E.; HAYES, M. H. B. Sizes and shapes of humic substances. **Soil Science**. Baltimore, v. 164:777-789, 1999.

COLEMAN, D.C.; OADES, J.M.; UEHARA, G. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**. Honolulu : University of Hawaii Press, 1989. 249p.

COLLARES, G.L. et al. Qualidade física do solo na produtividade da cultura do feijoeiro num Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.41,p.663-1674, 2006.

CONCEIÇÃO, P. C. et al. Qualidade do solo em sistemas de manejo avaliada pela dinâmica da matéria orgânica e atributos relacionados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, vol.29, p. 777-788. 2005.

COSTA, M.S.S.de M. et al. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 810-815, 2011.

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

COSTA, F. S. et al. Aumento da matéria orgânica num latossolo bruno em plantio direto. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, p. 587-589, 2004.

COSTA, F.S. et al. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.527-535, 2003.

COSTA, J.B. **Caracterização e constituição do solo**. 29.ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkion, 1979. 527p.

DEGENS, B. P. Macro-aggregation of soils by biological bonding and binding mechanisms and the factors affecting these: A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.35, p.431-459, 1997.

DETWILER, R.P. Land use change and the global carbon cycle: the role of tropical soils. **Biogeochemistry**, v.2, p.67-93, 1986.

DIEKOW, J. et al. Carbon and nitrogen stocks in physical fractions of a subtropical Acrisol as influenced by long-term no-till cropping systems and N fertilization. **Plant & Soil**, v.268, p319-328, 2005.

DORMAAR, J. F.; LINDWALL, C. W.; KOZUB, G.C. Effectiveness of manure and commercial fertilizer in restoring productivity of an artificially eroded Dark Brown

Chernozemic soil under dryland conditions. **Canadian Journal of Soil Science**, v.68,p. 669-679, 1988.

DOURADO NETO, D.; JONG VAN LIER, Q.; BOTREL, T. A.; LIBARDI, P. L. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo de Genuchten. **Engenharia Rural**. Piracicaba, v. 1, p. 92-102, 1990.

EASH, N. S.; KARLEN, D. L.; PARKN, T. B. Fungal contribution to soil aggregation and soil quality. In: DORAN, J. W. *et al.* (Ed.). **Defining soil quality for a sustainable environment**. Madison: ASA-SSA, 1994. p. 221-228.

ELLIOTT, E.T., 1986. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, 627–633.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212p.

FELLER, C. ; BEARE, N. H. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. **Geoderma**. Amsterdam, v. 79, p 69:116, 1997.

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

FIGUEIREDO, L.H.A.; DIAS JUNIOR, M.S. e FERREIRA, M.M. Umidade crítica de compactação e densidade do solo máxima em resposta a sistemas de manejo num Latossolo Roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.24, p.487-493, 2000.

FOLLETT R.F. Soil management concepts and carbon sequestration in cropland soils. **Soil & Tillage Research**, v.61, p.77–92, 2001.

GOLCHIN, A.; BALDOCK, J. A.; OADES, J. M. A model linking organic matter decomposition, chemistry, and aggregate dynamics. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. F.; STEWART, B.A. (Ed). **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton: CRC Press, 1997. 245-266.(Advances in Soil Science).

GOLCHIN, A. et al. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state <sup>13</sup>C CP/MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy. **Australian Journal of Soil Research**. Victoria, 32:285-309, 1994.

GONG, W. et al. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. **Geoderma**. Amsterdam, v.149, p.318-324, 2009.

GREENLAND, D. L.; WILD, A. e ADAMS, D. Organic matter dynamics in soils of the tropics – from myth to complex reality. In: LAL, R. & SANCHES, P. A., eds. **Myths and science of soils of the tropics**. Madison, SSSA/ASA, 1992. P 17-33.

GUERRA, J.G.M.; SANTOS, G.A.; SILVA, L.S. e CAMARGO, F.A.O. Macromoléculas e substâncias húmicas. In: SANTOS, G.A.; SILVA, L.S.; CANELLAS, L.P. e CAMARGO, F.A.O., eds. **Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2.ed. Porto Alegre, Metrópole, 2008.

GUPTA, V.V.S.R., GERMIDA, J.J. Distribution of microbial biomass and its activity in different soil aggregate size classes as affected by cultivation. **Soil Biology & Biochemistry**, v.20, p.777–786, 1988.

GUPTA, S. C.; LARSON, W. E. Estimating soil water retention characteristics from particle size distribution, organic matter percent, and bulk density. **Water Resources Research**. Washington, v. 15, p. 1633-1635, 1979.

HAKANSSON, I. A method for characterizing the state of compactness of the plough layer. **Soil & Tillage Research**, v.16, p.105-120, 1990.

HARTWIG NL, AMMON HU. 50th Anniversary—invited article—cover crops and living mulches. **Weed Science**, v. 50: 688–699, 2002.

HATI, K.M. et al. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. **Bioresource Technology**, v.97, p.2182-2188, 2006.

ICEPA, Síntese anual da agricultura de Santa Catarina 2005-2006  
[http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/sintese\\_2006/sintese\\_2006.pdf](http://cepa.epagri.sc.gov.br/Publicacoes/sintese_2006/sintese_2006.pdf). Acessado em: 06/11/2012.

JAMISON, V. C.; KROTH, V. C. Available moisture storage capacity in relation to texture composition and organic matter content of several Missouri soils, **Soil Science Society America Proceedings**, v.22, p.289-192, 1958.

JASTROW, J. D. e MILLER, R. M. Soil aggregate stabilization and carbon sequestration: Feedbacks through organomineral associations. In: LAL, R.; KIMBLE, J. M.; FOLLETT, R. f. & STEWART, B. A. eds. **Soil processes and the carbon cycle**. Boca Raton, CRC Press, p.207-223, 1998.

JIMENEZ, M. P. HORRA, A. M. PRUZZO, L. PALMA, R. M. Soil quality: a new index based on microbiological and biochemical parameter. **Biology and Fertility Soils**, v.35, p.302-306. 2002.

JOKELA, W.E.; GRABBER, J.H.; KARLEN, D.L.; BALSER, T.C.; PALMQUIST, D.E. Cover crop and liquid manure effects on soil quality indicators in a corn silage system. **Agronomy Journal**. Madison, v.101, p.727-737, 2009.

KAY, B. D. Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal. R. Kimble, J. M. Follet, R. F. Stewart, B. A. (Eds). **Soil Processes and Carbon Cycle**. CRC Press, Boca Raton, fl. p 169-197.1998.

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)

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

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

KLEIN, V. A. **Física do solo**. Passo Fundo:Ed. Universidade de Passo Fundo, 2008.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. Densidade e distribuição do diâmetro dos poros de um latossolo vermelho, sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.26, p.857-867, 2002.

KLEIN, V. A.; LIBARDI, P. L. A faixa de umidade menos limitante ao crescimento vegetal e a sua relação com a densidade do solo ao longo de um perfil de um Latossolo roxo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.959-964, 2000.

KONONOVA, M.M. **Materia orgánica del suelo: su naturaleza, propiedades y métodos de investigación**. Barcelona: Oikos-tau, 1982. 364p.

LAL, R.; BRUCE, J.P. The potential do world cropland soils to sequester C and mitigate the greenhouse effect. **Environment Science Pollution**, v.2, p.177-185, 1999.

LAL, R. Soil management and restoration for C sequestration to mitigate the accelerated greenhouse effect. **Environmental Science Program**, v.1, p.307–326, 1999.

LEE, S.B. et al. Changes of soil organic carbon and its fractions in relation to soil physical properties in a long-term fertilized paddy. **Soil & Tillage Research**, v.104, p.227-232, 2009.

LE BISSONNAIS, Y. Aggregate stability and assessment of soil crutability and erodibility: I. Theory and methodology. **Europen Journal Soil Science**, v.47, p.425-437. 1996.

LEITE, L.F.C. et al. Estoques totais de C orgânico e seus compartimentos em Argissolo sob floresta e sob milho cultivado com adubação mineral e orgânica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.27, p.821-832, 2003.

LOSS, A. et al. Carbono e frações granulométricas da matéria orgânica do solo sob sistemas de produção orgânica. **Ciência Rural**. Santa Maria, v. 39, p.1067-1072. 2009.

LYNCH, J. M e BRAGG, E. Microorganism and soil aggregate stability. **Adv. Soil Science**, v.2, p.133:171, 1985.

MACHADO, J. L. et al. Inter-relações entre as propriedades físicas e os coeficientes da curva de retenção de água de um latossolo sob diferentes sistemas de uso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, p.495-502, 2008

MALHI, S.S.; GILL, K.S. Fertilizer N and P effects on root mass of brome grass, alfalfa and barley. **Journal Sustainable Agriculture**, v.9, p.51–63, 2002.

MANDAL, B. et al. Assessing soil quality for a few long-term experiments an Indian initiative. In: **Proceedings of international conference on soil, water environment quality issues and strategies held during Jan 28 to Feb 1, 2005** at New Delhi, p. 278–281, 2005.

MARCHIORI JUNIOR, M. e MELO, W.J. Alterações na matéria orgânica e na biomassa microbiana em solo de mata natural submetido a diferentes manejos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.35, p.1177-1182, 2000.

MARTIN-NETO, L.; ROSELL, R. e SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**. Amsterdam, v.81, p.305-311, 1998.

MELLEK, J.E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.110, p. 69–76, 2010

MOLLOY, L. F.; SPEIR, T. W. Studies on a climosequence of soil in tussock grasslands. 12. Constituents of the soil light fraction. **New Zealand Journal of Soil Science**, v. 20 167-177, 1977.

MOREIRA, F.M.S. e SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2006. 729p.

MOSADDEGHI, M.R.; MAHBOUBI, A.A. e SAFADOUST, A. Short-term effects of tillage and manure on some soil physical properties and maize root growth in a sandy loam soil in western Iran. **Soil & Tillage Research**, v.104, p.173-179, 2009.

NEUFELDT, H. AYARZA, M. A.; RESCK, D. V. S.; ZECH, W. Distribution of water-stable aggregates and aggregating agents in oxisols of the Brazilian Cerrados. In: THOMAS, R. & AYARZA, M. A. eds. **Sustainable land management for the Oxisols of the Latin American Savannas**. Cali, Colombia, CIAT, 1999. p 51-63.

NICOLOSO, R. S.; LOVATO, T.; AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; LANZANOVA, M.E. Balanço do carbono orgânico no solo sob integração lavoura-pecuária no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32:2425-2433, 2008.

NYAMANGARA, J.; GOTOSA, J.; MPOFU, S. E. Cattle manure effects on structural stability and water retention capacity on a granitic sandy soil in Zimbabwe. **Soil & Tillage Research**, v.62, p.157-162, 2001.

OADES, J. M. et al. Interactions of soil organic matter and variable-charge cations. In: COLEMAN, J. E. et al. Eds. **Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems**, University of Hawaii, 1989, p 65-95.

OLIVEIRA, P. A. V.; **Manual de manejo e utilização de dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA- CNPSA, 1993, 188p.

PAGLIAI, M.; BISSON, E.B.A. e LEDIN, S. Changes in surface structure (crusting) after application of sewage sludge and pig slurry to cultivated agricultural soils in northern Italy. **Geoderma**. Amsterdam, v.30, p.35-53, 1983.

PARFITT, R. L. et al. Effect of clay minerals and land use on organic matter pools. **Geoderma**. Amsterdam, v.75, p1-12, 1997.

QUEIROZ, F.M. et al. Características químicas de solo submetido ao tratamento com esterco líquido de suínos e cultivado com gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.34, p.1487-1492, 2004.

RANGEL, O. J. P.; SILVA, C. A. Estoques de carbono e nitrogênio e frações orgânicas de Latossolo submetido a diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 31, p. 1609-1623. 2007.

RASMUSSEN, P.E. et al. Crop residue influence on soil carbon and nitrogen in a wheat-fallow system. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.596–600, 1980.

RAUBER, L. P. et al. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandudox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.36, p.1323-1332, 2012.

REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. e BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. **Ciência e Ambiente**, v.28, p.29- 48, 2003.

REYNOLDS, W.D. et al. Indicators of good soil physical quality: density and storage parameters. **Geoderma**. Amsterdam, v.110, p.131-146, 2002.

ROSCOE, R.; BODDEY, R. M.; SALTON, J.C. Sistemas de manejo e matéria orgânica do solo. In: ROSCOE, R.; MERCANTE, F.M.; SALTON, J.C. (Eds). **Dinâmica da matéria orgânica do solo em sistemas conservacionistas: modelagem matemática e métodos auxiliares**. EMBRAPA AGROPECUÁRIA, Dourados, 2006.

ROSCOE, R.; BUURMAN, P. Tillage effects on soil organic matter in density fractions of a Cerrado Oxisol. **Soil & Tillage Research**. Amsterdam, 2003.

ROSCOE, R. et al. Soil organic matter dynamics in density and particle-size fractions as revealed by the  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  isotopic ratio in a Cerrado's Oxisol. **Geoderma**. Amsterdam, 104:185-202, 2001.

SANCHES, P. A. **Properties and management of soils in the tropics**. New York, Wiley, 1976. 618p.

SANTA CATARINA. Secretaria de estado de coordenação geral e planejamento. **Atlas escolar de Santa Catarina**. Rio de Janeiro. Aerofoto Cruzeiro, 1991. 96p

SCHERER, E. E. et al. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHERER, E.E.; AITA, C.; BALDISSERA, I.T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante. Florianópolis, Epagri, 1996.46p.(Boletim Técnico, 79).

SCHIAVO, J. A.; ROSSET, J.S.; PEREIRA, M.G.; SALTON, J.C. Índice de manejo de carbono e atributos químicos de Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Viçosa, v. 46, p.1332-1338, 2011.

SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, 16:129-141, 1999.

SILVA, I.R. e 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., (Eds). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.275–374.

SILVA, M.A.S. et al. Propriedades físicas e teor de carbono orgânico de um Argissolo Vermelho sob distintos sistemas de uso e manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.30, p.329-337, 2006.

SILVA, M. A. S. et al. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.35. p.544-552, 2005.

SILVA, I. F. e MIELNICZUK, J. Ação do sistema radicular de plantas na formação e estabilização de agregados de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.21, p.113-117, 1997.

SILVA, A.P. et al. Influência da compactação nas propriedades físicas de dois Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.10, p.91-95, 1986.

SIQUEIRA, C.; LEAL, J.R. e VELLOSO, A.C.X. Eletroquímica de solos tropicais de carga variável. II. Quantificação do efeito da matéria orgânica sobre o ponto de carga zero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Campinas, v.14, p.13-17, 1990.

SIX, J. The potential to mitigate global warming with no-tillage managements is only realized when practiced in the long term. **Global Change Biology**, v.10, p.155-160, 2004.

SIX, J.; ELLIOTT, E. T.; PAUSTIAN, K. Aggregation and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. **Soil Science Society of America Journal**, v.63, p.1350-1358, 1999.

SOUZA, W. J. O.; MELO W. J. Matéria orgânica em um latossolo submetido a diferentes sistemas de produção de milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 27, p. 1113-1122, 2003.

SOUZA, E.D.; COSTA, S.E.V.G.A.; ANGHINONI, I.; CARVALHO, P.C.F.; ANDRIGHETTI, M.H.; CAO, E.G. Estoques de carbono orgânico e de nitrogênio no solo em sistema de integração lavoura-pecuária em plantio direto, submetido a intensidades de pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, 33, 1829-1836, 2009.

SPACCINI, R. et al. Carbohydrates in water-stable aggregates and particle size fractions of forested and cultivated soils in two contrasting tropical ecosystems. **Biogeochemistry**, v.53, p1-22, 2001.

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

STEWART, C. E. et al. Soil C saturation: Concept, evidence, and evaluation. **Biogeochemistry**, v.86, p.19-31, 2007.

TAYLOR, H.M. e GARDNER, H.R. Penetration of cotton seedlings taproots as influenced by bulk density, moisture content and strength soil. **Soil Science**, v.96, p.153-156, 1963.

TEDESCO, M.J. et al.: **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.174p.

TISDALL, J.M. e OADES, J.M. Organic-matter and water-stable aggregates in soils. **J. Soil Science**, v.33, p.141-163, 1982.

TISDALL, J. M. e OADES, J. M. The effect of crop-rotation on aggregation in a red-brown earth. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.423-433. 1980.

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P.; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um latossolo roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.22, p.573-581, 1998

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**. Madison, v. 44, n. 3, p. 892-898, 1980.

VEIHMEYER, F. J. e HENDRICKSON, A. H. Soil moisture in relation to plant growth. **Annual Review of Plant Physiology**, v.1, p.285-304, 1950.

VEIHMEYER, F. J. e HENDRICKSON, A. H. The moisture equivalent as a measure of the field capacity of soils. **Soil Science**, v.32, p. 181-193, 1931.

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

VEZZANI, F.M. Quality of soil system in the agriculture production. Ph.D. Thesis. Federal University of Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 184 pp. (in Portuguese), 2001.

VIEIRA, F.C.B. et al. Carbon management index based on physical fractionation of soil matter in an Acrisol under long-term no-till cropping systems. **Soil & Tillage Research**, v.96, p.195-204, 2007.

VOLK, L.B.S. e COGO, N.P. Inter-relação biomassa vegetal subterrânea-estabilidade de agregados-erosão hídrica em solo submetido a diferentes formas de manejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v.32, p.1713-1722, 2008.

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.

ZHANG, H.; HARTGE, K. H.; RINGE, H. Effectiveness of organic matter incorporation in reducing soil compactability. **Soil Science Society of America Journal**, v.61, n.1, p.239-245, 1997.

ZHAO, Y.; WANG, P.; LI, J., CHEN, Y., YING, X.; LIU, S. The effects of two organic manures on soil properties and crop yields on a temperate calcareous soil under a wheat-maize cropping system. **European Journal of Agronomy**, v. 31:36-42, 2009.

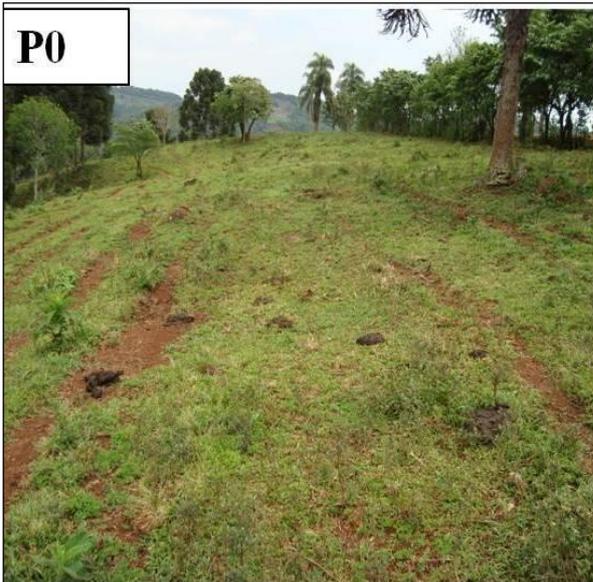
ZINN, Y.L.; LAL, R.; RESCK, D.V.S. Changes in soil organic carbon stocks under agriculture in Brazil. **Soil & Tillage Research**, v.84, p.28-40, 2005.

## **ANEXOS**

Anexo A – Fotos das áreas de estudo no momento das coletas de solo. EM20 – erva mate com 20 anos de aplicação de esterco animal; PP20: pastagem permanente com 20 anos de aplicação de esterco; P15: pastagem com 15 anos de aplicação de esterco; P3: pastagem com 3 anos de aplicação de esterco; P0: pastagem nativa sem aplicação de esterco; M20: milho com 20 anos de aplicação de esterco; M7 milho com 7 anos de aplicação de esterco; MN: mata nativa.



Continuação Anexo A.



Anexo B – Correlação de Pearson entre umidade retida nos potenciais matriciais e atributos do solo. COT= carbono orgânico total; DS= densidade do solo; Macro= macroporosidade; Micro= microporosidade; AD= água disponível.

	Potencial matricial (kPa)								
	saturado	1	6	10	33	100	300	500	1500
COT	0,64	0,45	-0,29	-0,35	-0,42	-0,42	-0,40	-0,45	-0,42
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
DS	-0,70	-0,46	0,36	0,42	0,51	0,51	0,51	0,54	0,51
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Macro	0,80	0,45	-0,54	-0,58	-0,70	-0,71	-0,71	-0,71	-0,70
	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
Micro	-0,30	-0,22	Ns	ns	0,20	0,21	0,22	0,21	0,25
	<0,0001	<0,0001			0,0052	0,0032	0,0019	0,0032	0,0003
AD	0,51	0,64	0,26	0,18	ns	ns	-0,15	-0,30	-0,40
	<0,0001	<0,0001	0,0002	0,0089			0,0280	<0,0001	<0,0001

ANEXO C – Características químicas na camada 0-20cm em Nitossolo Vermelho sob diferentes sistemas de uso e aplicação de esterco de animais

Sistemas produtivos	Fósforo (mg kg <sup>-1</sup> )	Potássio cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Cálcio cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Magnésio cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	Alumínio cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>	pH água
M7	67,2	0,5	2,2	4,1	0,1	5,4
M20	92,7	0,8	6,1	7,2	0,1	6,7
P3	4,2	0,7	1,8	3,4	0,8	4,9
P15	77,3	0,8	4,8	4,1	0,1	5,7
PP20	62,5	0,9	2,6	4,0	0,6	4,9
EM20	120,3	0,8	3,4	2,9	1,5	4,4
MN	2,5	0,5	11,5	4,5	0,1	5,8
P0	3,1	0,6	1,9	2,8	0,9	5,1