

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO**

**DEJETOS DE SUÍNOS: PRODUÇÃO DE CULTURAS,  
EFEITOS NA MATÉRIA ORGÂNICA E NA  
TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE FÓSFORO**

**TESE DE DOUTORADO**

**Cledimar Rogério Lourenzi**

**Santa Maria, RS, Brasil**

2014

**DEJETOS DE SUÍNOS: PRODUÇÃO DE CULTURAS,  
EFEITOS NA MATÉRIA ORGÂNICA E NA  
TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE FÓSFORO**

**Cledimar Rogério Lourenzi**

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em  
Ciência do Solo, Área de Concentração em Processos Químicos e Ciclagem de  
Elementos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como  
requisito parcial para obtenção do grau de  
**Doutor em Ciência do Solo.**

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta**

**Santa Maria, RS, Brasil**

**2014**

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Lourenzi, Cledimar Rogério  
DEJETOS DE SUÍNOS: PRODUÇÃO DE CULTURAS, EFEITOS NA  
MATÉRIA ORGÂNICA E NA TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE FÓSFORO /  
Cledimar Rogério Lourenzi.-2014.  
127 p.; 30cm

Orientador: Carlos Alberto Ceretta  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-  
Graduação em Ciência do Solo, RS, 2014

1. Dejeito de suínos 2. Matéria orgânica do solo 3.  
Escoamento superficial I. Ceretta, Carlos Alberto II.  
Título.

**Universidade Federal de Santa Maria  
Centro de Ciências Rurais  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo**


A Comissão Examinadora, abaixo assinada,  
aprova a Tese de Doutorado

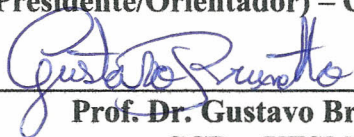
**DEJETOS DE SUÍNOS: PRODUÇÃO DE CULTURAS, EFEITOS NA  
MATÉRIA ORGÂNICA E NA TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE  
FÓSFORO**

elaborada por  
**Cledimar Rogério Lourenzi**

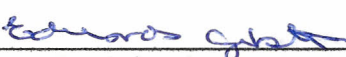
como requisito parcial para obtenção do grau de  
Doutor em Ciência do Solo

**Comissão examinadora:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta**  
(Presidente/Orientador) – CCR – UFSM

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Gustavo Brunetto**  
CCR – UFSM

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr.ª. Deborah Pinheiro Dick**  
UFRGS

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Eduardo Girotto**  
IFRS – Ibirubá

  
\_\_\_\_\_  
**Dr. Jucinei José Comin**  
CCA – UFSM

Santa Maria, 23 de abril de 2014.

À Angelize e ao Miguel, minha esposa e meu filho, com quem tenho compartilhado minhas alegrias, expectativas, apreensões e conquistas nos últimos anos. Aos meus pais que sempre me deram força para continuar a luta e alcançar meus objetivos. Sem vocês não conseguiria dar tantos passos importantes em minha vida. Obrigado por estarem sempre ao meu lado. Amo Vocês!

**Dedico este trabalho**

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente, agradeço a Deus por sempre guiar meus passos e colocar pessoas especiais no meu caminho.

Em especial a minha esposa Angelize que, muitas vezes, abriu mão de seus próprios objetivos para estar ao meu lado me ajudando a abrir meu caminho, permitindo seguir em frente naquilo que busco para nossas vidas. Com você as coisas tornam-se muito mais fáceis.

Aos meus pais Mario e Nelci, que sempre me apoiaram e incentivaram a seguir em frente e alcançar meus objetivos. A vocês só tenho a agradecer por tudo que fizeram por mim, por me ensinarem a importância da honestidade e a construir os meus próprios valores como pessoa. Obrigado pelo amor, pela compreensão e confiança em mim depositada.

Ao professor Carlos Alberto Ceretta, que sempre foi mais do que um orientador, é um amigo com quem sempre posso contar. Um exemplo de dedicação, competência, honestidade e caráter. Obrigado por acreditar em mim.

À professora Deborah Pinheiro Dick, minha co-orientadora, que me possibilitou expandir meus horizontes, auxiliando na realização do meu doutorado sanduíche na *Università Degli Studi di Bari Aldo Moro*, em Bari (Itália), obrigado por tudo.

Ao professor Eduardo Giroto pela amizade e pelo auxílio na realização de meu trabalho e também pela importância na minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

Ao professor Gustavo Brunetto e ao Pós-Doutorando Paulo Ademar Avelar Ferreira pela colaboração e participação na realização deste trabalho, pela amizade e apoio na busca de meus objetivos.

Ao Pesquisador da Epagri/Chapecó Eloi Ehard Scherer pela atenção e por disponibilizar um experimento que me auxiliou na realização de meu trabalho.

Ao doutorando Tadeu Luis Tiecher pela amizade e pelo auxílio na coleta de amostras e na discussão de meu trabalho.

À Cecília Estima Sacramento dos Reis e ao Henrique Cesar Almeida que me ensinaram as técnicas de fracionamento físico e químico da matéria orgânica do solo, respectivamente.

Aos bolsistas de iniciação científica, em especial, a Adriana Cancian, que me auxiliou em todas as análises laboratoriais.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade, conversas e parceria durante o período do curso.

Ao Luiz Francisco Finamor sempre bem humorado e disposto a ajudar quando solicitado.

Aos professores do Departamento de Solos João Kaminski, Danilo Rheinheimer dos Santos, Celso Aita, Sandro Giacomini, Ricardo Simão Diniz Dalmolin, Jean Minella, Dalvan J. Reinert, José Miguel Reichert, Zaida Antonioli, Fabrício de Araújo Pedron, Rodrigo Jacques e Thomé Lovato, pelas conversas e pelo aprendizado durante o curso.

Aos colegas de laboratório pela convivência e pela amizade criada ao longo desses anos. Agradeço-os pelo convívio e conhecimento compartilhado ao longo desse período.

Ao Héverton, secretário do curso de Pós-graduação, pela dedicação e pela competência com que realiza seu trabalho.

À Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Teodoro Miano, à pesquisadora Valeria D'Orazio e a pós-doutoranda Andreina Traversa da *Università Degli Studi di Bari Aldo Moro*, que me auxiliaram na realização das minhas atividades durante o doutorado sanduíche e também pela atenção e amizade durante o período em que estive em Bari.

À todos aqueles que não foram nomeados mas que tiveram participação na minha formação pessoal e profissional deixo meu muito obrigado.

À CAPES pela concessão da bolsa de estudo de doutorado no Brasil e também pela bolsa do programa PDSE, que me permitiu realizar parte de meu doutorado na *Università Degli Studi di Bari Aldo Moro*, em Bari (Itália).

## RESUMO

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **DEJETOS DE SUÍNOS: PRODUÇÃO DE CULTURAS, EFEITOS NA MATÉRIA ORGÂNICA E NA TRANSFERÊNCIA DE FORMAS DE FÓSFORO**

Autor: Cledimar Rogério Lourenzi

Orientador: Carlos Alberto Ceretta

Data: Santa Maria, 23 de abril de 2014.

A suinocultura é uma atividade amplamente desenvolvida na Região Sul do Brasil que gera grandes volumes de dejetos, os quais são, normalmente, utilizados como fontes de nutrientes em culturas de grãos e pastagens. Entretanto, sucessivas aplicações de dejetos podem provocar alterações na concentração de nutrientes no solo, alterar a dinâmica na matéria orgânica do solo (MOS) e potencializar a transferência de fósforo para ambientes aquáticos. O presente estudo objetivou avaliar a interferência de aplicações sucessivas de dejetos de suínos sobre a produção e acúmulo de nutrientes em culturas, alterações na composição química e na distribuição das frações físicas e químicas da matéria orgânica do solo e sobre a transferência de formas de fósforo por escoamento superficial, em solos subtropicais sob sistema plantio direto. Para isso foram desenvolvidos três estudos: O Estudo 1 objetivou avaliar como as doses de dejetos, aplicadas ao longo de alguns anos, podem impactar a produção de grãos, de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em culturas de grãos comerciais e em plantas de cobertura do solo. Este estudo foi composto por um experimento conduzido em Argissolo Vermelho Distrófico arênico com aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS) antes da implantação de cada cultura da sucessão: aveia preta/milho/feijão preto, em 2002/2003; aveia preta+ervilhaca/milho, nos anos de 2003/2004 e 2004/2005; aveia preta/feijão preto/crotalária, em 2005/2006; aveia preta/milho/aveia preta, em 2006/2007. Para as culturas de milho e feijão foi avaliada a produtividade de grãos e, para todas as culturas, foi determinada a produção de matéria seca da parte aérea e o acúmulo de N, P e K no tecido vegetal. O Estudo 2 objetivou avaliar o impacto de aplicações sucessivas de dejetos de suínos na forma líquida e na forma de compostagem no estoque de C e na composição química e estrutural das frações químicas e físicas da MOS em dois ambientes subtropicais, com distintas características texturais. Esse estudo foi composto por dois experimentos: o experimento 1 foi conduzido em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico que recebeu 19 aplicações das doses de 0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, num período de 93 meses, e o experimento 2 foi conduzido em um Latossolo Vermelho Distroférico típico que recebeu seis aplicações das doses de 0, 8 e 16 t ha<sup>-1</sup> de compostagem de maravalha com DLS, além de um tratamento com adubação mineral, num período de 71 meses. Nos dois experimentos foi realizada coleta de solo nas profundidades 0-4, 4-8, 8-12, 12-16 e 16-20 cm. Nas amostras de solo foram determinados os teores totais de C, fracionamento físico e químico da MOS, calculado o estoque de C nas frações físicas e químicas da MOS e a composição química dos ácidos húmicos. O Estudo 3 objetivou avaliar o acúmulo de fósforo (P) no solo e a transferência de formas de P por escoamento superficial em um Argissolo sob sistema plantio direto e submetido a sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. Para esse estudo foi utilizado o experimento 1 do Estudo 2. Nesse experimento foram coletadas amostras de solução escoada, sempre que houve precipitação com volume suficiente para provocar escoamento superficial, e determinado os teores de P-disponível, P-solúvel, P-particulado e P-total. Os resultados obtidos mostram que as aplicações de dejetos aumentaram a produtividade de grãos e matéria seca pelas culturas avaliadas, mas para o feijão, a produtividade máxima foi alcançada com a menor dose de DLS, indicando que para as demais doses, a quantidade de nutrientes aplicada esteve acima da demanda da cultura. As maiores produções de matéria seca com a aplicação de dejetos promoveram incrementos nos teores de MOS e alteraram a composição química dos ácidos húmicos, sendo que a incorporação de compostos presentes nos dejetos foi a principal causa dessas alterações. Além disso, as sucessivas aplicações de dejetos promoveram incrementos nos teores disponíveis de P no solo, refletindo em maiores transferências de formas de P por escoamento superficial, obedecendo a seguinte ordem: P-disponível > P-solúvel > P-particulado. Portanto, o manejo dos dejetos no solo deve obedecer a critérios que possibilitem maximizar o efeito fertilizante e minimizar os impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Resíduos Orgânicos. Produtividade de Grãos. Estoque de Carbono. Escoamento Superficial. Fósforo.



## ABSTRACT

Tese de Doutorado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **SWINE MANURE: CROPS PRODUCTION, EFFECTS ON ORGANIC MATTER AND FORMS PHOSPHORUS TRANSFER**

Author: Cledimar Rogério Lourenzi

Advisor: Carlos Alberto Ceretta

Date: Santa Maria, 04-23-2014

Swine production is an activity widely developed in southern Brazil that generates large volumes of manure, which are normally used as sources of nutrients in grain crops and pastures. However, successive applications of manure can cause changes in the concentration of nutrients in the soil, changing the dynamics in soil organic matter (SOM) and enhance the transfer of phosphorus in aquatic environments. This study aimed to evaluate the effect of successive applications of swine manure on production and nutrient accumulation in crops, changes in chemical composition and distribution of physical and chemical fractions of soil organic matter and the transfer of forms of phosphorus by runoff in subtropical soils under no-tillage. For this, three studies were undertaken: Study 1 aimed to assess how doses of manure, applied over a few years can impact grain yield, dry matter and nutrient accumulation in commercial grain crops and cover plants soil. This study consisted of an experiment conducted in Hapludalf soil with applications of doses of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry (PS) prior to implementation of each culture of succession: black oats/millet/black beans, in 2002/2003; black oats+vetch/maize, in 2003/2004 and 2004/2005; black oat/black beans/sunn hemp, in 2005/2006; black oats/maize/black oats, in 2006/2007. For maize and black beans was evaluated grain yield and, for all crops, the production of dry matter of shoots and accumulation of N, P and K in plant tissue was determined. Study 2 aimed to evaluate the impact of successive applications of swine manure in liquid form and in the form of compost on carbon storage and chemical and structural composition of physical and chemical fractions of SOM in two subtropical environments with distinct textural characteristics. This study consisted of two experiments: the first experiment was conducted on an Hapludalf soil that received 19 applications of doses of 0, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> PS over a period of 93 months, and the experiment 2 was conducted in one Hapludox soil that received six applications of doses of 0, 8 and 16 t ha<sup>-1</sup> of composted wood shavings with PS, plus a treatment with mineral fertilizer, for a period of 71 months. In both experiments were performed collecting soil depths 0-4, 4-8, 8-12, 12-16 and 16-20 cm. In soil samples were quantified the total C, physical and chemical fractionation of SOM, the calculated C stocks in physical and chemical fractions of SOM and chemical composition of humic acids. Study 3 aimed to evaluate the accumulation of phosphorus (P) in the soil and transfer of P forms in surface runoff in a Hapludalf soil under no-tillage and subjected to successive applications of pig slurry. For this study the experiment 1 of Study 2 was used. Drained samples solution of this experiment samples were collected, where precipitation was sufficient to cause runoff volume, and the levels of available P, soluble P, particulate P and total P were determined. The results show that the application of manure increased grain yield and dry matter production by cultures, but for the beans, the highest yield was achieved with the lowest dose of PS, indicating that for the other doses, the amount of nutrients applied was above the demand of the crop. The highest yields of dry matter with the application of manure promoted increases in SOM levels and altered the chemical composition of humic acids, and the incorporation of compounds present in manure was the main cause of these changes. Moreover, successive applications of manure promoted increases in levels of available P in the soil, reflecting higher shipments of P forms in runoff, following this order: available P > soluble P > particulate P. Therefore, the management of waste in the soil must meet criteria that allow the fertilizer to maximize effect and minimize environmental impacts.

Keywords: Organic fertilization. Grain productivity. Carbon stock. Runoff. Phosphorus.



## LISTA DE QUADROS

### ESTUDO I

- Quadro 1. Características químicas do solo, na camada de 0-10 cm, em maio de 2000, antes da instalação do experimento, e em janeiro de 2008, depois de 19 aplicações de dejetos líquido de suínos (DLS). .....27
- Quadro 2. Características do dejetos líquido de suínos (DLS) utilizado e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura, durante 93 meses de condução do experimento. ....28
- Quadro 3. Produção de matéria seca e quantidade acumulada de N, P e K no tecido das culturas submetidas à aplicação de 0, 20, 40 e 80 m<sup>-3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquido de suínos (DLS), adicionadas antes da implantação de cada cultivo em cinco anos agrícolas. ....34

## LISTA DE TABELAS

### ESTUDO II

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas dos solos, na camada 0-10 cm, antes da instalação dos experimentos. ....	43
Tabela 2. Quantidade total de matéria seca e nutrientes adicionados ao Argissolo e Latossolo via aplicação de dejetos de suínos e adubação mineral.....	44
Tabela 3. Estoque de carbono nas frações físicas da matéria orgânica em solos submetidos a aplicações de dejetos de suínos. ....	50
Tabela 4. Estoque de carbono nas frações químicas da matéria orgânica do Argissolo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos.....	54
Tabela 5. Estoque de carbono nas frações químicas da matéria orgânica do Latossolo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos.....	55
Tabela 6. Análise elementar, razões atômicas e razão E4/E6 de ácidos húmicos de solos submetidos a aplicações de dejetos de suínos.....	58

### ESTUDO III

Table 1. Characteristics of the pig slurry applied before the sowing of each crop of the sequence.....	68
Table 2. Levels of available P extracted by Mehlich 1, in layers of soil under successive pig slurry applications.....	70
Table 3. Amount of P added to the soil through pig slurry, volume of rainfall, volume of surface runoff and losses of available P, soluble P, particulate P and total P in the surface runoff volume for crops of black oat-2005 (a) black beans-2005/2006 (b) sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d) maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. ....	72
Table 4. Correlation equations relations runoff (Runoff), cumulative runoff (Runoff <sub>cum</sub> ), loss of available phosphorus (P <sub>av</sub> ), loss of soluble phosphorus (P <sub>sol</sub> ), loss of particulate phosphorus (P <sub>part</sub> ), loss of total phosphorus (P <sub>total</sub> ), applied amount of phosphorus (P <sub>add</sub> )..	74

## LISTA DE FIGURAS

### ESTUDO I

- Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média nos anos agrícolas de 2002 a 2007, na área experimental, em Santa Maria (RS). ..... 31
- Figura 2. Produção de grãos de feijão preto (a) e milho (b), submetidos à aplicação de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS), em diferentes anos agrícolas..... 32
- Figura 3. Produção acumulada de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo, milho e feijoeiro (a), e produção acumulada de grãos de feijão preto e milho anos agrícolas de 2002 a 2007 (b), cultivados em solo submetido à aplicação de doses acumuladas de dejetos líquidos de suínos (DLS).. ..... 33

### ESTUDO II

- Figura 1. Carbono total (C<sub>total</sub>) no Argissolo (a) e Latossolo (b) submetidos à aplicação de dejetos de suínos..... 48
- Figura 2. Distribuição do C nas frações físicas da matéria orgânica do Argissolo controle (a), com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (b) e com 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS (c) e do Latossolo controle (d), com 8 Mg ha<sup>-1</sup> de CDS (e), com 16 Mg ha<sup>-1</sup> de CDS (f) e com adição de NPK (g)..... 51
- Figura 3. Relação entre os teores de C<sub>total</sub> e os teores de C<sub>silte</sub> and C<sub>argila</sub> no Argissolo controle (a), com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (b) e com 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS (c) e no Latossolo controle (d), com aplicação de 8 Mg ha<sup>-1</sup> (e) e 16 Mg ha<sup>-1</sup> de CDS (f) e com adição de NPK (g)..... 53
- Figura 4. Distribuição do C nas frações químicas da matéria orgânica do Argissolo controle (a), com 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (b) e com 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS (c) e do Latossolo controle (d), 8 Mg ha<sup>-1</sup> (e), com 16 Mg ha<sup>-1</sup> de CDS (f) e com adição de NPK (g).. ..... 56
- Figura 5. Espectros de FTIR da fração ácido húmico do Argissolo nas camadas 0-4 (a) e 16-20 cm (b) e do Latossolo nas camadas 0-4 (c) e 16-20 cm (d). ..... 60

### ESTUDO III

- Fig. 1. Volume of rainfall and surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application.. ..... 71
- Fig. 2. Concentration of available P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application..... 76

Fig. 3. Concentration of soluble P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application.....	77
Fig. 4. Concentration of particulate P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application.....	79
Fig. 5. Concentration of total P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application.....	80

## **LISTA DE ANEXOS**

ANEXO A. Instruções aos autores da Revista Brasileira de Ciência do Solo. ....	99
ANEXO B. GUIDE FOR AUTHORS (GEODERMA and AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT).....	103

## LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A. Obtenção das curvas de dispersão para o fracionamento físico da matéria orgânica.....	120
Apêndice B. Fluxograma do procedimento adotado para o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo.....	121
Apêndice C. Fluxograma do procedimento adotado para o fracionamento químico da matéria orgânica do solo.....	122
Apêndice D. Teor de umidade e cinzas obtidos para os ácidos húmicos dos solos estudados. .....	123
Apêndice E. Extração de fósforo disponível do solo por Mehlich I.....	124
Apêndice F. Extração de fósforo da solução escoada com HCl 0,11 mol L <sup>-1</sup> .....	125
Apêndice G. Fósforo total na solução escoada.....	126
Apêndice H. Determinação de fósforo em extratos ácidos. ....	127



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>19</b>
<b>2 HIPÓTESES</b> .....	<b>22</b>
<b>3 OBJETIVO GERAL</b> .....	<b>22</b>
<b>3.1 Objetivos específicos</b> .....	<b>22</b>
<b>4 ESTUDO I - DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E O ACÚMULO DE NUTRIENTES, MATÉRIA SECA E A PRODUÇÃO DE GRÃOS DE CULTURAS DIVERSIFICADAS</b> .....	<b>24</b>
<b>4.1 Resumo</b> .....	<b>24</b>
<b>4.2 Summary</b> .....	<b>24</b>
<b>4.3 Introdução</b> .....	<b>25</b>
<b>4.4 Material e Métodos</b> .....	<b>26</b>
<b>4.5 Resultados e Discussão</b> .....	<b>29</b>
<b>4.6 Conclusões</b> .....	<b>35</b>
<b>4.7 Agradecimentos</b> .....	<b>36</b>
<b>4.8 Literatura Citada</b> .....	<b>36</b>
<b>5 ESTUDO II – Estoque e distribuição de carbono em frações químicas e físicas da matéria orgânica e composição química de ácidos húmicos após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em solos subtropicais</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1 Resumo</b> .....	<b>40</b>
<b>5.2 Introdução</b> .....	<b>40</b>
<b>5.3 Material e Métodos</b> .....	<b>42</b>
5.3.1 Descrição dos experimentos e amostragem de solo .....	42
5.3.2 Fracionamento físico granulométrico da MOS .....	44
5.3.3 Fracionamento químico da MOS.....	44
5.3.4 Estoque de carbono nas frações da MOS .....	45
5.3.5 Análises espectroscópicas.....	46
5.3.6 Análise estatística .....	47
<b>5.4 Resultados e Discussão</b> .....	<b>47</b>
5.4.1 Teores de C <sub>total</sub> no solo .....	47
5.4.2 Estoque, distribuição e capacidade de retenção de C nas frações físicas da MOS.....	48
5.4.3 Estoque e distribuição de C nas frações químicas da MOS .....	52
5.4.4 Composição química dos ácidos húmicos .....	57

<b>5.5 Conclusões</b> .....	<b>61</b>
<b>5.6 Agradecimentos</b> .....	<b>61</b>
<b>5.7 Referências</b> .....	<b>61</b>
<b>6 ESTUDO III – Forms of phosphorus transfer by runoff under no-tillage in a soil treated with successive pig slurry applications</b> .....	<b>65</b>
<b>6.1 Abstract</b> .....	<b>65</b>
<b>6.2 Introduction</b> .....	<b>65</b>
<b>6.3 Material and Methods</b> .....	<b>67</b>
6.3.1 Site description, treatment and evaluations .....	67
6.3.2 Phosphorus analysis.....	68
6.3.3 Statistical treatment of the data .....	69
<b>6.4 Results</b> .....	<b>69</b>
6.4.1 Soil available phosphorus.....	69
6.4.2 Solution transfer by surface runoff.....	70
6.4.3 Forms of P transfer by runoff .....	73
<b>6.5. Discussion</b> .....	<b>75</b>
6.5.1 Effect of pig slurry application on the available phosphorus in soil .....	75
6.5.2 Effect of pig slurry applications in solution transfer by surface runoff.....	78
6.5.3 Effect of pig slurry applications in forms of P transfer by runoff.....	81
<b>6.6 Conclusions</b> .....	<b>82</b>
<b>6.7 References</b> .....	<b>83</b>
<b>7 DISCUSSÃO GERAL</b> .....	<b>87</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>92</b>
<b>9 ANEXOS</b> .....	<b>98</b>
<b>10 APÊNDICES</b> .....	<b>119</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

A suinocultura está entre as principais atividades agropecuárias do Brasil, sendo desenvolvida, principalmente, na Região Sul do país, que apresenta em torno de 54% do rebanho brasileiro de suínos (ABIPECS, 2011). Como a proteína animal é uma das principais exigências alimentares no mundo e com a evolução tecnológica dos últimos anos, os sistemas produtivos de suínos evoluíram. Uma alteração importante foi a implementação do sistema de confinamento dos animais no processo criatório, que causou redução no número de criadores e aumento do número de suínos por unidade produtora (SEGANFREDO e GIROTTO, 2004). Essa característica confere à suinocultura a produção de uma grande quantidade de dejetos, que precisam ter um destino adequado.

A alternativa mais comumente utilizada pelos produtores para o descarte dos dejetos gerados é a aplicação em áreas cultivadas como fonte orgânica de nutrientes. Por causa disso, a atividade suinícola deve ser considerada como um sistema de produção integrado entre lavoura e pecuária, e não apenas como uma unidade independente de produção. Ao contrário dos fertilizantes minerais, que podem ser formulados para as mais diversas condições de cultivo e de solo, os dejetos apresentam simultaneamente, nutrientes em quantidades desproporcionais em relação à necessidade das plantas (CQFS - RS/SC, 2004) e capacidade de adsorção pelo solo (BERWANGER et al., 2008; McDOWELL et al., 2001). Assim, as adubações em excesso ou sucessivas com dejetos de suínos podem ocasionar alterações nos atributos químicos do solo (ADELI et al., 2008; LOURENZI et al., 2011; LOURENZI et al., 2013; SCHERER et al., 2010) e provocar impactos ambientais indesejáveis como a poluição das águas superficiais (CERETTA et al., 2005a; SWEENEY et al., 2012; VADAS et al., 2011; WANG et al., 2013) e subsuperficiais (BASSO et al., 2005; CARNEIRO et al., 2012; GIROTTO et al., 2013; SORENSEN e RUBAEK, 2012). Dessa forma, antes da implantação de cada cultura é importante estabelecer as doses de dejetos que serão aplicadas, com o intuito de obter produtividade satisfatória e minimizar os impactos ambientais.

Diversos trabalhos da literatura têm demonstrado os efeitos dos dejetos sobre a produtividade de grãos e matéria seca das culturas, como os desenvolvidos por Adeli et al. (2003), Assmann et al. (2007), Ceretta et al. (2005b), Durigon et al. (2002) e Sistani et al., (2008). Entretanto, como o efeito dos dejetos depende de fatores como as características do solo, a composição físico-química dos dejetos e, principalmente, a capacidade produtiva das

espécies cultivadas, o estabelecimento de doses de dejetos a serem aplicadas em cada cultura é uma tarefa difícil de ser realizada. Com o intuito de buscar informações consistentes sobre esses aspectos, o Estudo I busca determinar o efeito de sucessivas aplicações das doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos na produção de grãos, de matéria seca e no acúmulo de nutrientes em culturas de grãos e em plantas de cobertura de um Argissolo no sul do Brasil.

As aplicações de dejetos de suínos também representam uma adição de carbono ao solo e que pode representar mudanças na matéria orgânica não só sob o ponto de vista quantitativo, mas também qualitativo. Por isso, repetidas aplicações de resíduos orgânicos de origem animal podem incrementar o teor de matéria orgânica do solo, como observado por Adeli et al. (2008); Lou et al. (2011); Lourenzi et al. (2011); Mellek et al. (2010), já que esse material orgânico adicionado ao solo tem em sua composição polissacarídeos, lipídios, proteínas e outros compostos aromáticos (Dinel e Gregorich, 1995), que diferem também em sua biodegradabilidade. Isso mostra que todo o resíduo orgânico adicionado ao solo não pode ser avaliado somente sob o ponto quantitativo, mas também qualitativo, já que ambos os aspectos são importantes no balanço da matéria orgânica do solo.

A aplicação continuada de dejetos pode alterar as características relacionadas à qualidade do solo. As alterações podem ser benéficas, desde que as doses aplicadas sejam adequadas, podendo aumentar a biomassa microbiana e sua atividade na ciclagem de nutrientes e outros processos, assim como a acumulação do carbono e nutrientes na camada superficial do solo (ADELI et al., 2008; LOURENZI et al., 2013; SCHERER et al., 2010). Além do teor de matéria orgânica, a adição de compostos orgânicos pode causar mudanças na qualidade e funcionalidade da matéria orgânica do solo e, por isso, vem sendo amplamente utilizado em estudos da qualidade do solo (HERNANDEZ et al., 2006; HERNANDEZ et al., 2007).

Um dos principais fatores que interferem na qualidade e funcionalidade da matéria orgânica é o tipo de solo, especialmente, no que se refere ao teor e composição mineralógica da fração argila, pois a formação de interações organominerais entre os compostos orgânicos e óxidos de Fe e Al (EUSTERHUES et al., 2005; SANTANA et al., 2011; SCHÖNING et al., 2005), podem estabilizar o C no solo, dificultando a acessibilidade de enzimas e de microrganismos ou conferirem uma estabilidade química aos compostos orgânicos (BRUUN et al., 2010; LUTZOW et al., 2006; KAISER e GUGGENBERG, 2007). Nesse sentido, o Estudo II busca determinar o efeito de sucessivas aplicações de dejetos de suínos na qualidade

da matéria orgânica e no estoque de C nas frações físicas e químicas da matéria orgânica de um Argissolo e de um Latossolo manejados sob sistema plantio direto.

Aplicações frequentes de dejetos em uma mesma área, especialmente em solos sob sistema plantio direto, causam acúmulo de nutrientes, entre eles o fósforo (P), nas camadas superficiais do solo (CERETTA et al., 2003; ADELI et al., 2008; SCHERER et al., 2010; GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013). Isso ocorre porque o P aplicado no solo, derivado de dejetos ou adubação mineral, pode ser adsorvido com alta energia de ligação aos grupos funcionais de superfície da fração mineral do solo. Entretanto, a adição de altas quantidades de P ao solo reduz a disponibilidade de sítios mais ávidos pelo íon fosfato, fazendo com que esse elemento seja adsorvido em sítios de menor energia de ligação. Com isso, ocorre acúmulo de P em frações lábeis inorgânicas especialmente nas camadas superficiais do solo, mas também em maiores profundidades (GATIBONI et al., 2008; CERETTA et al., 2010a; GUARDINI et al., 2012; LOURENZI et al., 2013).

O acúmulo de P em solos com histórico de aplicação de dejetos pode potencializar a transferência do nutriente pela solução escoada na superfície do solo (SMITH et al., 2001; GESSEL et al., 2004; BASSO et al., 2005; VADAS et al., 2007; CERETTA et al., 2010b), causando a eutrofização de águas superficiais adjacentes às áreas submetidas a aplicação de resíduos orgânicos (SMITH et al., 2007; SWEENEY et al., 2012; WANG et al., 2013). As transferências de P por escoamento superficial ocorrem nas formas solúvel e particulada. Segundo Haygarth e Sharpley (2000), o P-solúvel (ou dissolvido) é obtido em solução filtrada a  $<0.45 \mu\text{m}$  e o P-particulado é obtido pela diferença entre o P-total da amostra não filtrada e o P-solúvel (filtrado a  $<0.45 \mu\text{m}$ ). A transferência de P pela solução escoada tem sido tema de trabalhos em tradicionais países criadores de suínos do Mundo e do Brasil (CERETTA et al., 2005a; CERETTA et al. 2010b; DAVEREDE et al., 2004; KLEINMAN et al., 2009; SWEENEY et al., 2012; WANG et al., 2013; WITHERS et al., 2001). As quantidades de P transferido são dependentes, especialmente, da quantidade do nutriente aplicado ao solo; do teor de P no solo; da frequência e do volume das precipitações, bem como das características do solo e do sistema de cultivo (CERETTA et al., 2010b; DAVEREDE et al., 2004; HART et al., 2004). Nesse aspecto, o Estudo III busca avaliar as transferências de formas de P por escoamento superficial em um Argissolo manejado sob sistema plantio direto e submetido a sucessivas aplicações das doses de 0, 20, 40 e  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos líquidos de suínos.

## 2 HIPÓTESES

- Culturas diversas submetidas a aplicações de dejetos de suínos apresentam respostas diferentes quanto a produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea;
- Aplicações sucessivas de dejetos de suínos promovem acúmulo de carbono no solo, especialmente em frações mais protegidas;
- A aplicação de dejetos altera as propriedades químicas do carbono do solo, que são influenciadas pela composição da fração orgânica do dejetos e pelas condições climáticas da região onde o solo está inserido;
- As transferências de formas de P por escoamento superficial são influenciadas, principalmente, pelas quantidades de P aplicadas via dejetos de suínos e são maiores nos primeiros eventos após a aplicação dos dejetos.

## 3 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral é determinar a interferência de aplicações sucessivas de dejetos de suínos sobre a produção e acúmulo de nutrientes em culturas, alterações na composição química e na distribuição das frações físicas e químicas da matéria orgânica e sobre a transferência de formas de fósforo por escoamento superficial, em solos subtropicais sob sistema plantio direto.

### 3.1 Objetivos específicos

- Determinar a produção de grãos, de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em culturas de grãos comerciais e em plantas de cobertura do solo submetidas a aplicações de dejetos de suínos;
- Determinar como aplicações sucessivas de dejetos de suínos podem interferir no estoque e nas propriedades químicas do C nas frações químicas e físicas da matéria orgânica em dois ambientes subtropicais, com distintas características texturais;

- Determinar o acúmulo de fósforo no solo e transferência de formas de fósforo por escoamento superficial em um solo submetido a sucessivas aplicações de dejetos líquido de suínos e manejado sob sistema plantio direto.

## 4 ESTUDO I - DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E O ACÚMULO DE NUTRIENTES, MATÉRIA SECA E A PRODUÇÃO DE GRÃOS DE CULTURAS DIVERSIFICADAS<sup>1</sup>

### 4.1 Resumo

O dejetos líquido de suínos (DLS) representa uma importante fonte de nutrientes às plantas e sua utilização como adubo para as culturas significa a possibilidade de maior ciclagem de nutrientes no ambiente. O trabalho objetivou avaliar como as doses de DLS, aplicadas ao longo de alguns anos, podem impactar a produção de grãos, de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em culturas de grãos comerciais e em plantas de cobertura do solo. O experimento foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria (RS), no período de maio de 2000 a janeiro de 2008. Neste período, foram implantadas 19 culturas de grãos e de cobertura de solo, sendo aplicado DLS antes da semeadura de cada cultura, nas doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. O aumento da dose de DLS aplicada ao longo de anos promoveu o incremento da disponibilidade de nutrientes, notadamente de P, mas também de nutrientes que podem ser potencialmente tóxicos às plantas, especialmente de Cu e Zn. A recuperação aparente de nutrientes pelas culturas de grãos comerciais e de cobertura do solo diminuiu à medida que aumenta o número de aplicações de doses de DLS no solo. A produção de matéria seca acumulada das culturas e a produção de grãos de milho foram maiores com a dose anual de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS. Entretanto, a produtividade de grãos de feijão aumenta até 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, evidenciando que, na definição da dose, deve ser considerada a cultura a ser estabelecida.

**Termos para indexação:** esterco, produtividade, rotação de culturas.

### 4.2 Summary

#### PIG SLURRY APPLICATION AND THE NUTRIENT ACCUMULATION, DRY MATTER AND GRAIN YIELD OF DIVERSIFIED CROPS

*The pig slurry (PS) is an important source of nutrients for plants and their use for crops means the possibility of nutrient cycling in the environment. The study aimed to assess how successive doses of PS can impact the grain yield, dry matter and nutrient accumulation in commercial grain crops and soil cover crops. The experiment was carried out at the Federal University of Santa Maria, in Santa Maria (RS), from May 2000 to January 2008.*

---

<sup>1</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo (Anexo A).



*During this period, it was grown 19 grain crops and soil cover crops; PS doses were applied before sowing of each crop and at the following dose: 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. Increasing the dose applied of PS over the years promotes the increase of nutrient availability, mainly in P levels, but also potentially toxic elements to the plants, especially Cu and Zn. The apparent recovery of nutrients by commercial grain crops and soil cover crops decreases as the number of PS applications increases. The accumulated dry matter yield of soil cover crops and yield of maize were higher with the annual dose of 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. However, the yield of beans increases to 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, showing that, in definition of the PS dose should be considered the crop that will be grown.*

**Index terms:** *Manure, yield, crop rotation.*

### 4.3 Introdução

Na região Sul do Brasil, os suínos são criados predominantemente em sistema confinado e no Rio Grande do Sul (RS) são produzidos diariamente, aproximadamente, 38.000 m<sup>3</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS) (FEPAM, 2008). O DLS possui teor variável de matéria seca, muitas vezes em baixa percentagem com, aproximadamente, 60% do N na forma amoniacal (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) (Payet et al., 2009), mais de 60% do P na forma inorgânica (Cassol et al., 2001) e o K, na sua totalidade, é encontrado na forma mineral (Ceretta et al., 2003). Assim, devido à grande disponibilidade nas propriedades e à sua composição, o DLS tem sido utilizado como adubo para plantas de cobertura e culturas comerciais de grãos.

Aplicações sucessivas de DLS podem promover rápido aumento dos teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> em solos e, ao longo dos anos, especialmente em solos degradados, incrementos nos teores de matéria orgânica, conferindo maior disponibilidade de formas de N às culturas (Lourenzi et al., 2011; Brunetto et al., 2012). Além disso, aplicações de DLS podem causar aumento das formas inorgânicas lábeis de P no solo, que são prontamente disponíveis para as plantas (Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010); aumento dos teores de K, Ca e Mg trocáveis no solo, elevação do pH e complexação de Al<sup>+3</sup>, em função de sua adsorção aos grupos funcionais de ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica do solo (Lourenzi et al., 2011; Brunetto et al., 2012).

Com a melhoria das características químicas de solos pelas aplicações de DLS, pode haver crescimento adequado de raízes de plantas em um maior volume de solo, o que favorece a absorção de água e nutrientes, refletindo-se em incremento da produção de culturas de grãos, como o milho (*Zea mays* L.), o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), e de matéria seca da parte aérea de espécies de plantas de cobertura do solo, como a aveia preta (*Avena strigosa*),

ervilhaca (*Vicia sativa* L.), milheto (*Pennisetum americanum* L.) e crotalária (*Crotalaria juncea* L.) (Ceretta et al., 2005; Chantigny et al., 2008). Isso é desejável, já que, em sistema plantio direto (SPD), os resíduos vegetais permanecem sobre a superfície do solo, protegendo-o, por exemplo, contra o impacto da gota da chuva, diminuindo o deflúvio na superfície do solo e promovendo a ciclagem de nutrientes (Doneda et al., 2012; Guillou et al., 2012). Todavia, caso os teores de nutrientes em solos, como aqueles adicionados ao solo pela aplicação de DLS, estejam acima dos níveis de suficiência para as culturas (CQFS-RS/SC, 2004), espera-se o acúmulo de nutrientes, como o N, P e K, no tecido vegetal acima da demanda fisiológica da cultura (Kaminski et al., 2007).

A utilização do DLS como fertilizante em culturas tem sido demonstrada em diversos trabalhos, como o desenvolvido por Giacomini & Aita (2008), que, avaliando a produtividade de grãos de milho, obtiveram incremento de até 243% na produtividade de grãos, quando do cultivo em solo submetido à aplicação de  $63,6 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS, que, nesse caso, correspondeu à aplicação de  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Além disso, a aplicação de DLS pode incrementar a produção de grãos de outras culturas, como o feijoeiro (Scherer, 1998), a produção de matéria seca de espécies de plantas de cobertura, entre elas, a aveia preta e, também, a produção de forragem (Ceretta et al., 2005; Aita et al., 2006). Entretanto, a resposta das culturas está associada à dose e ao tempo de aplicação do DLS e, conseqüentemente, ao incremento na disponibilidade de nutrientes no solo (Adeli et al., 2008; Scherer et al., 2010; Lourenzi et al., 2013) e, especialmente, à demanda de nutrientes pelas culturas.

O trabalho objetivou avaliar como as doses de DLS, aplicadas ao longo de alguns anos, podem impactar a produção de grãos, de matéria seca e o acúmulo de nutrientes em culturas de grãos comerciais e em plantas de cobertura do solo.

#### **4.4 Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no período de maio de 2000 a janeiro de 2008, na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, região da Depressão Central do RS (Latitude S  $29^{\circ} 43'$ ; Longitude W  $53^{\circ} 42'$ ). O clima da região é subtropical úmido, classificado como Cfa, conforme classificação de Köppen, e apresenta temperatura e precipitação pluvial média anual de  $19,3^{\circ}\text{C}$  e  $1.561 \text{ mm}$ , respectivamente. O solo foi classificado como um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006) e, na camada de 0-10 cm, apresenta  $170 \text{ g kg}^{-1}$  de argila,  $300 \text{ g kg}^{-1}$  de silte e  $530 \text{ g kg}^{-1}$  de areia. As características químicas do solo, em maio de 2000, antes da instalação do experimento, e em janeiro de 2008, depois de 19 aplicações de DLS,

constam no quadro 1. Em um sistema de rotação de culturas foram feitas 19 aplicações de DLS nas doses de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>. As aplicações foram realizadas com distribuição a lanço, superficialmente, sobre a palhada da cultura anterior e antes da implantação de cada cultura da rotação. O DLS foi a única fonte de nutrientes às culturas. O delineamento experimental usado foi de blocos ao acaso, com três repetições, e as parcelas possuíam tamanho de 4 x 3 m. As características dos DLS e as quantidades de nutrientes adicionadas para cada cultura são apresentadas no quadro 2.

Quadro 1. Características químicas do solo, na camada de 0-10 cm, em maio de 2000, antes da instalação do experimento, e em janeiro de 2008, depois de 19 aplicações de dejetos líquidos de suínos (DLS).

Dose de dejetos	pH <sub>H2O</sub>	MO g kg <sup>-1</sup>	P disp.	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Al	V	Al <sup>3+</sup>	H+Al	CTC <sub>ef</sub>	CTC <sub>pH7</sub>
		-----Características químicas do solo antes da instalação do experimento-----												
		-----Características químicas do solo em janeiro de 2008, após 19 aplicações de DLS-----												
	4,70	16	15,0	96	2,7	1,1	1,2	1,6	17	42	0,80	5,6	4,8	9,6
Controle	5,01 <sup>n.s.</sup>	19,0 c <sup>1</sup>	12,8 d	51 d	2,2 c	1,9 d	3,2 d	3,9 d	7,9 a	43 b	0,34 a	5,6 <sup>n.s.</sup>	4,6 c	9,8 <sup>n.s.</sup>
20 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	5,16	26,6 b	122,0 c	60 c	2,5 c	2,2 c	10,4 c	10,8 c	4,6 b	50 b	0,22 b	5,0	5,0 c	9,8
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	5,20	28,0 b	276,0 b	66 b	3,1 b	2,6 b	17,6 b	17,6 b	3,6 b	56 a	0,21 b	4,5	6,0 b	10,2
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	5,33	37,6 a	753,9 a	86 a	3,4 a	3,1 a	37,5 a	38,3	2,1 b	61 a	0,14 b	4,4	6,9 a	11,2

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha = 0,05$ ); n.s. = não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Durante a condução do experimento foram cultivadas as seguintes espécies em rotação: aveia preta (*Avena strigosa*), milho (*Zea mays L.*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), nos anos agrícolas de 2000/2001 e 2001/2002; aveia preta, milheto (*Pennisetum americanum L.*) e feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) em 2002/2003; aveia preta+ervilhaca (*Vicia sativa L.*) e milho nos anos de 2003/2004 e 2004/2005; aveia preta, feijão preto e crotalária (*Crotalaria juncea L.*) em 2005/2006; aveia preta, milho e aveia preta em 2006/2007. A aveia foi semeada a lanço, utilizando-se 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes. Quando em consórcio com a ervilhaca, utilizaram-se 100 kg ha<sup>-1</sup> de sementes na proporção aveia/ervilhaca de 60/40. O milho foi semeado no espaçamento de 0,90 m entre linhas, com cinco plantas por metro linear, totalizando, aproximadamente, 55.500 plantas ha<sup>-1</sup>. O nabo forrageiro e a crotalária foram semeados em espaçamento de 0,40 m entre linhas e 25 plantas m<sup>-1</sup> linear, totalizando, aproximadamente, 625.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O milheto foi semeado com espaçamento de 0,40 m entre linha e cinco plantas m<sup>-1</sup> linear, totalizando, aproximadamente, 125.000 plantas ha<sup>-1</sup>. O feijoeiro foi semeado com espaçamento de 0,45 m entre linha e 12 plantas m<sup>-1</sup> linear, totalizando, aproximadamente, 266.500 plantas ha<sup>-1</sup>. Os resultados referentes aos dois primeiros anos de condução do experimento foram apresentados por

Ceretta et al. (2005) e, por causa disso, neste estudo, são relatados os resultados obtidos nos últimos cinco anos de condução do experimento.

Quadro 2. Características do dejetto líquido de suínos (DLS) utilizado e a quantidade de nutrientes aplicada antes da implantação de cada cultura, durante 93 meses de condução do experimento.

Características do DLS	Nutrientes aplicados antes de cada cultura											
	Terceiro ano agrícola (2002/2003)											
MS, %	Aveia preta				Milheto				Feijão preto			
	Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
	Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>			
N total <sup>(1)</sup>	0,11	22,0	44,0	88,0	0,75	150,0	300,0	600,0	0,22	44,0	88,0	176,0
P total <sup>(2)</sup>	2,12	2,0	4,0	8,0	1,19	15,9	31,8	63,6	2,95	28,4	56,8	113,6
K total <sup>(2)</sup>	0,41	0,4	0,8	1,6	0,72	9,6	19,2	38,5	1,50	14,5	28,9	57,8
Quarto ano agrícola (2003/2004)												
MS, %	Aveia preta + ervilhaca				Milho							
	Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>							
	%	20	40	80	%	20	40	80				
	Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>							
N total <sup>(1)</sup>	0,28	56,0	112,0	224,0	0,40	80,0	160,0	320,0				
P total <sup>(2)</sup>	3,41	16,2	32,3	64,6	3,33	13,8	27,6	55,2				
K total <sup>(2)</sup>	2,90	13,7	27,5	55,0	4,58	19,0	38,0	76,0				
Quinto ano agrícola (2004/2005)												
MS, %	Aveia preta + ervilhaca				Milho							
	Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>							
	%	20	40	80	%	20	40	80				
	Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>							
N total <sup>(1)</sup>	0,06	12,0	24,0	48,0	0,37	74,0	148,0	296,0				
P total <sup>(2)</sup>	4,22	8,4	16,8	33,6	5,58	80,3	160,6	321,2				
K total <sup>(2)</sup>	10,13	20,3	40,5	81,0	1,27	18,3	36,6	73,2				
Sexto ano agrícola (2005/2006)												
MS, %	Aveia preta				Feijão preto				Crotalaria			
	Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
	Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>			
N total <sup>(1)</sup>	0,30	60,0	120,0	240	0,12	24,0	48,0	96,0	0,10	20,0	40,0	80,0
P total <sup>(2)</sup>	2,95	40,1	80,2	160,4	4,43	60,2	120,5	241,0	4,79	116,3	232,6	465,2
K total <sup>(2)</sup>	0,91	12,4	24,8	49,6	2,44	33,2	66,4	132,8	1,01	24,5	49,0	98,0
Sétimo ano agrícola (2006/2007)												
MS, %	Aveia preta				Milho				Aveia preta			
	Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				Dose, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>			
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
	Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>				Aplicação - kg ha <sup>-1</sup>			
N total <sup>(1)</sup>	0,10	20,0	40,0	80,0	0,16	32,0	64,0	128,0	0,32	64,0	128,0	256,0
P total <sup>(2)</sup>	5,37	106,7	213,5	427,0	5,18	19,8	39,6	79,2	5,77	40,6	81,2	162,4
K total <sup>(2)</sup>	1,85	36,8	73,6	147,2	3,56	13,6	27,2	54,4	3,58	25,2	50,4	100,8

<sup>(1)</sup> Análises e cálculos em base úmida; <sup>(2)</sup> Análises e cálculos em base seca. MS, matéria seca.

A produção de grãos das culturas do milho e feijoeiro foi realizada em uma área útil de 6,3 e 7,2 m<sup>2</sup> por parcela, respectivamente. As determinações de matéria seca (MS) e dos teores totais de N, P e K no tecido foram realizadas a partir da coleta de massa verde em uma área útil de 0,25 m<sup>2</sup> para as culturas de cobertura do solo e cinco plantas por parcela, no pleno florescimento, para as culturas de grãos. A matéria seca foi obtida através de secagem em

estufa com ar forçado a 65°C, até matéria seca constante. Os teores de nutrientes presentes na MS foram determinados conforme Tedesco et al. (1995).

A estimativa da recuperação aparente de N, P e K pelas plantas durante os cinco anos agrícolas foi realizada a partir do acúmulo destes nutrientes até o pleno florescimento, relacionando a quantidade de nutriente absorvida pelas plantas na presença de DLS em relação às plantas na ausência de DLS, com a quantidade total adicionada via DLS. Para isso, utilizou-se a equação proposta por Mitchell & Teel (1977) (Equação 1):

$$RaN = \frac{[(NAPf - NAPsf)]}{Naf} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

onde: RaN é a recuperação aparente de N, P e K dos dejetos pela cultura, em %; NAPf é a quantidade de nutriente absorvido nas respectivas doses; NAPsf é a quantidade de nutriente absorvida no tratamento sem a aplicação de dejetos e Naf é a quantidade de nutriente adicionado via dejetos.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e, quando os efeitos foram significativos, foram ajustadas regressões polinomiais entre as doses de dejetos e as variáveis avaliadas. Foram testados modelos lineares dos tipos *plateau* e quadráticos, e a escolha do modelo de melhor ajuste foi baseada na significância ( $p < 0,05$ ).

A expressão matemática do modelo linear plateau encontra-se a seguir. 1) Modelo linear plateau, definido pelas equações 2 e 3:

$$Y = a + bX, \text{ se } X < C \quad \text{Equação 2}$$

$$Y = P, \text{ se } X \geq C \quad \text{Equação 3}$$

onde: Y é a produtividade do feijoeiro ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); a e b são intercepto e coeficiente linear, respectivamente; X é a dose do dejetos líquido de suíno ( $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ); a constante C é o local da interseção do modelo linear com o plateau; P é a produtividade quando atingido o plateau.

#### 4.5 Resultados e Discussão

As 19 aplicações de DLS durante 93 meses proporcionaram incremento do teor de matéria orgânica de 40 e 47% no solo com o uso de 20 e 40  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS, respectivamente, mas pode-se destacar o aumento de 98% no solo submetido à aplicação de 80  $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS (Quadro 1). Os valores de pH em água do solo incrementaram com o uso de DLS, sendo de, aproximadamente, 5,33 no solo submetido a aplicação de doses de DLS, enquanto no solo sem aplicação de DLS o valor foi de 5,01. Assim, destaca-se o aumento de até 59 vezes do teor de P disponível no solo com o uso de doses de DLS, comparativamente ao solo sem aplicação de DLS, o que pode potencializar a transferência de P por escoamento superficial,

na solução ou adsorvido a superfície de partículas inorgânicas (Guardini et al., 2012). Por outro lado, o teor de K trocável no solo submetido à aplicação de doses de DLS foi de 69%, comparativamente ao solo sem aplicação de DLS. Informações mais detalhadas sobre o impacto do uso de DLS nos parâmetros de solo podem ser obtidos em Lourenzi et al. (2011) e Lourenzi et al. (2013). Os incrementos de 3,2, 5,5 e 11,7 vezes nos teores de Cu e de 2,8, 4,5 e 9,8 vezes nos teores de Zn com o uso de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, respectivamente, são expressivos e têm uma discussão detalhada em Girotto et al. (2010). Do mesmo modo, Tiecher et al. (2013) relatam aumento dos teores de Cu e Zn em solo submetido a aplicação de DLS, o que pode potencializar a toxidez para as plantas, mas também a transferência de formas mais solúveis de Cu e Zn pela solução escoada na superfície do solo. Também, é oportuno comentar que, considerando-se a resolução número 375 do CONAMA (CONAMA, 2006), que normatiza o uso agrícola de lodo de esgoto, o tempo máximo de aplicação de DLS no solo do presente trabalho seria limitado, pela presença de Cu, a apenas 15 anos, no solo submetido à aplicação de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, dado que na norma a aplicação pode adicionar ao solo carga máxima de 137 kg ha<sup>-1</sup> de Cu.

A cultura do feijoeiro respondeu à aplicação de DLS, sendo que a máxima produtividade na safra de 2002/2003 foi de 1,36 Mg ha<sup>-1</sup>, em função da aplicação de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Figura 2a). Entretanto, em 2005/2006, a produtividade atingiu 3,06 Mg ha<sup>-1</sup> com a aplicação de 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS (Figura 2a), sendo favorecida pela adequada pluviosidade durante o período de desenvolvimento do feijoeiro (novembro de 2005 a janeiro de 2006), com precipitação de, aproximadamente, 350 mm (Figura 1). Isso se explica em razão de que, para o adequado crescimento e desenvolvimento do feijoeiro, de 350 a 450 mm de água devem estar disponíveis durante o seu cultivo (Junior & Venzon, 2007). Por outro lado, em 2002/2003, a precipitação foi muito elevada no período de cultivo (janeiro a abril de 2003), com volumes de, aproximadamente, 900 mm (Figura 1), o que prejudicou o desenvolvimento do feijoeiro, especialmente na época da floração.

Para a cultura do milho, o aumento das doses de DLS promoveu aumento da produtividade de grãos, nos três anos agrícolas (Figura 2b). A máxima produtividade de grãos de milho foi de 10,96; 8,28 e 10,81 Mg ha<sup>-1</sup>, nos anos agrícola 2003/2004, 2004/2005 e 2006/2007, respectivamente, para a dose máxima de DLS adicionada ao solo (Figura 2b), estando acima da média de produção do estado do RS (CONAB, 2010). Além disso, as condições climáticas foram favoráveis ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da cultura do milho, nos três cultivos realizados, por causa das temperaturas máximas inferiores a 31°C e mínimas superiores a 18°C, além de precipitações que variaram de,

aproximadamente, 830 mm, no ano 2004/2005, a 1100 mm, no ano 2003/2004 (Figura 1). Convém relatar que, quando aconteceu eventual deficiência hídrica, foram realizadas irrigações.

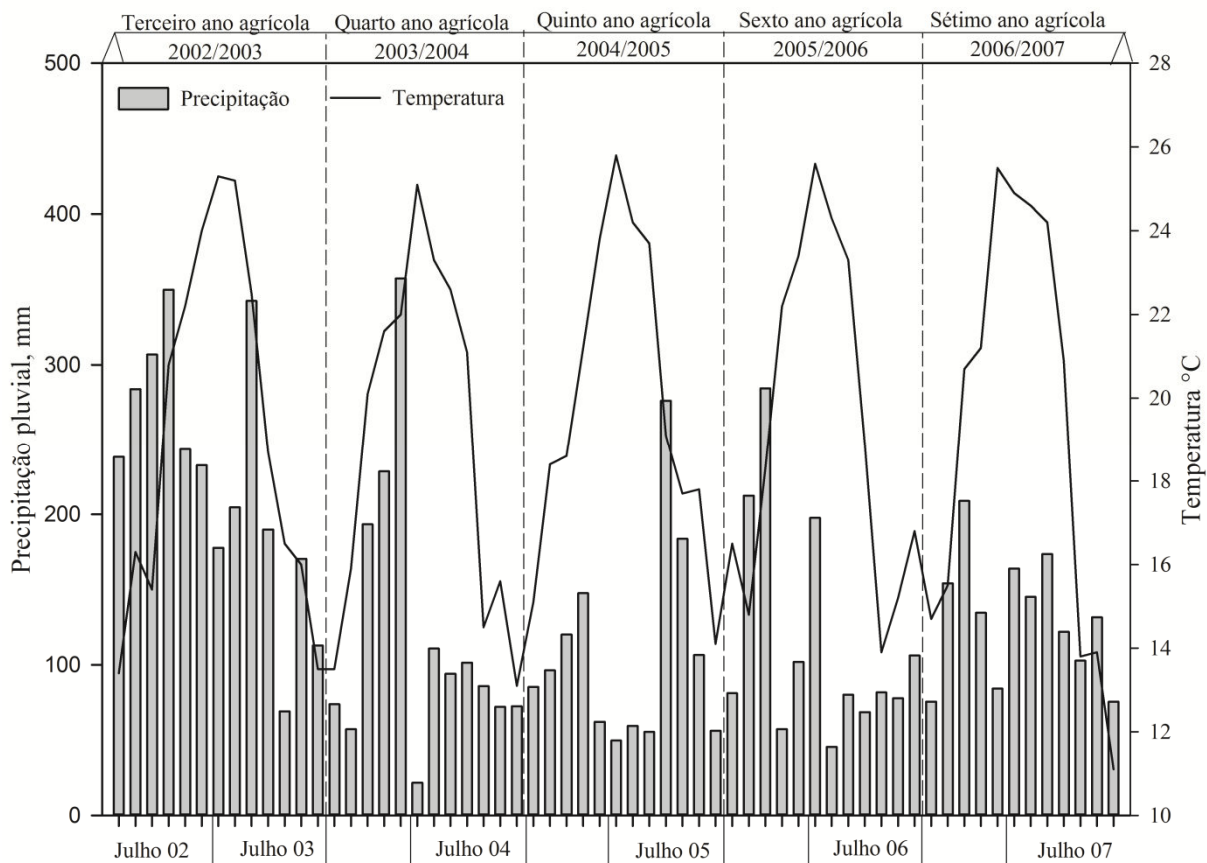


Figura 1. Precipitação acumulada e temperatura média nos anos agrícolas de 2002 a 2007, na área experimental, em Santa Maria (RS).

A produção acumulada de matéria seca nos treze cultivos, no período de 2002 a 2007, foi de 44,1, 74,7, 85,0 e 110,2 Mg ha<sup>-1</sup> sem a aplicação de DLS e com a adição de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, respectivamente (Figura 3a). Por outro lado, a produção de grãos acumulada nos três cultivos de milho e nos dois cultivos de feijoeiro foi de 7764, 17786, 22204 e 31396 Mg ha<sup>-1</sup> sem a aplicação de DLS e com a adição de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, respectivamente (Figura 3b).

A expressiva produção de matéria seca da parte aérea da cultura do feijoeiro com o uso de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (Quadro 3) provocou acamamento das plantas no estágio de floração e aumentou o período vegetativo das plantas, ocasionando uma redução no enchimento de grãos, nos dois anos agrícolas (Figura 1a). Esse é um exemplo da importância de se considerar a exigência nutricional da cultura na recomendação de DLS como fertilizante, principalmente

com relação ao N. Mesmo o N sendo requerido em grandes quantidades pela cultura do feijoeiro, o excesso pode causar uma série de aspectos negativos à condução de uma lavoura, como o acamamento e aumento do período vegetativo das plantas.

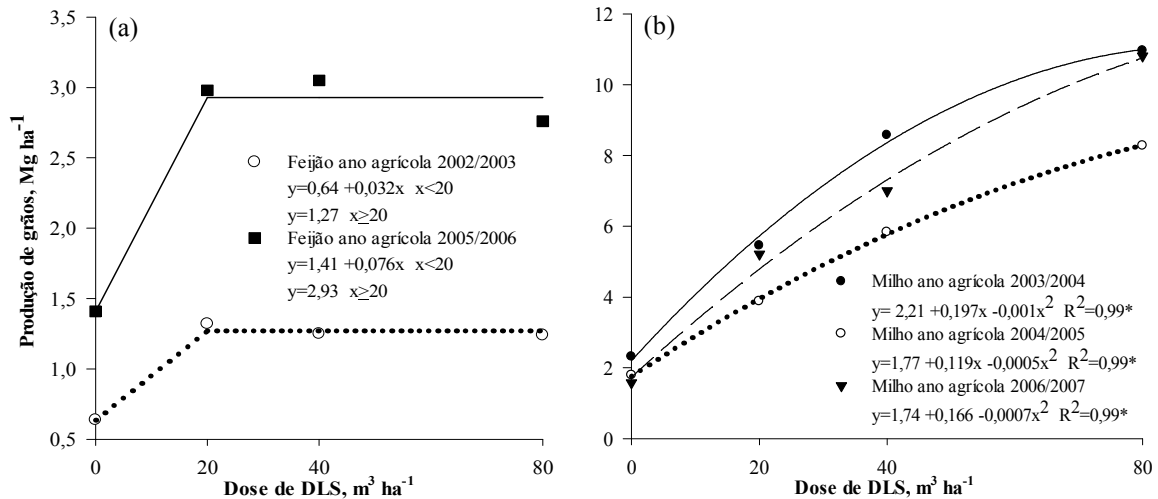


Figura 2. Produção de grãos de feijão preto (a) e milho (b), submetidos à aplicação de 0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS), em diferentes anos agrícolas. \*indicam que os coeficientes de determinação foram significativos pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

A utilização dos DLS deve estar inserida numa perspectiva de ciclagem de nutrientes e os resultados com a cultura do feijoeiro evidenciaram que o aumento expressivo na quantidade de nutrientes aplicados, com o incremento na dose de DLS, diminuiu a eficiência de uso dos nutrientes pelas plantas (Quadro 2). Entretanto, as maiores doses de DLS, neste caso, somente teriam sentido se os teores dos nutrientes no solo estivessem abaixo dos níveis desejados, como os preconizados pela CQFS-RS/SC (2004), por exemplo, dado que haveria um incremento nos teores de nutrientes no solo (Adeli et al., 2008; Ceretta et al., 2010; Scherer et al., 2010; Lourenzi et al., 2013). Isso possibilitaria a substituição parcial ou, algumas vezes, total dos fertilizantes minerais às culturas subsequentes, diminuindo os custos de produção em propriedades suinícolas (Ceretta et al., 2005; Giacomini & Aita, 2008).

A cultura do milho apresentou incremento significativo na produção de grãos com o aumento da dose de DLS, mostrando que a cultura é uma das melhores espécies para ser cultivadas em áreas com histórico de aplicação de DLS (Figura 2b). As gramíneas, em geral, são mais exigentes em N que as leguminosas, uma vez que não estabelecem simbiose eficiente com bactérias fixadoras de N (Moreira & Siqueira, 2006). A utilização de gramíneas nas áreas de descartes de DLS representa a possibilidade do uso de maiores doses, como observado neste trabalho, diminuindo os custos de distribuição e, em muitos casos,



viabilizando a distribuição dos DLS na mesma propriedade onde é gerado. Entretanto, é fundamental observar que, na grande maioria dos anos, a recuperação aparente de N, P e K diminuiu com o aumento da dose de DLS aplicada (Quadro 3), reflexo do acúmulo de nutrientes no solo (Quadro 1).

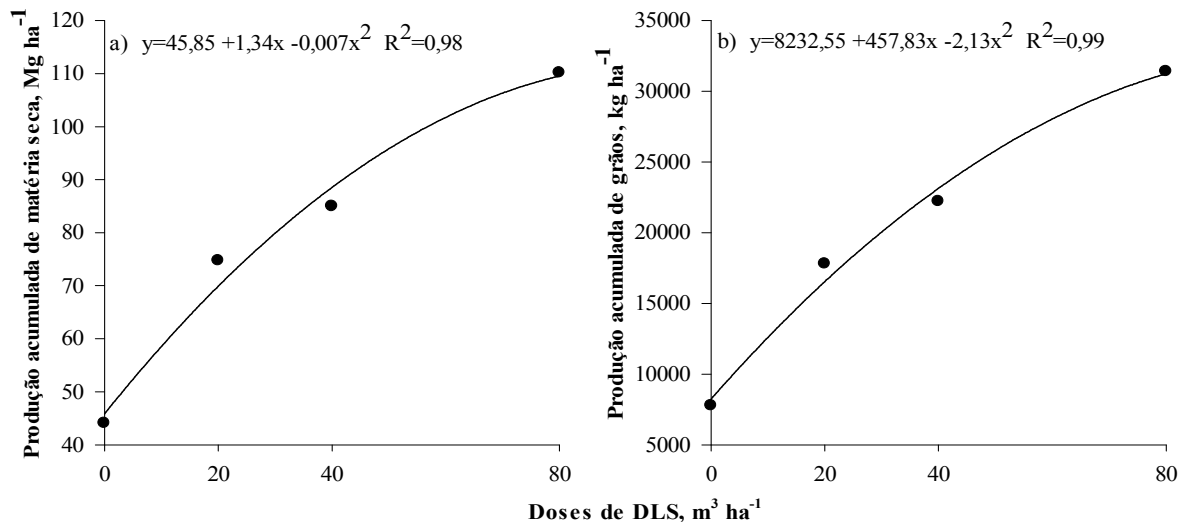


Figura 3. Produção acumulada de matéria seca da parte aérea das plantas de cobertura do solo, milho e feijoeiro (a), e produção acumulada de grãos de feijão preto e milho anos agrícolas de 2002 a 2007 (b), cultivados em solo submetido à aplicação de doses acumuladas de dejetos líquidos de suínos (DLS). \*indicam que os coeficientes de determinação foram significativos pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Em muitos casos, existe uma relação direta entre a produção de grãos e a quantidade de nutrientes aplicadas no solo via DLS, principalmente para N e P (Ceretta et al., 2005). Entretanto, com as sucessivas aplicações, a expectativa de resposta às doses diminuiu por causa do incremento dos teores de nutrientes no solo, o que justificaria o uso de DLS apenas para suprir a demanda e repor os nutrientes exportados pelas plantas de milho. Nesses casos, se os teores de nutrientes no solo estiverem acima do nível de suficiência (CQFSRS/SC, 2004), como acontece no solo dos distintos tratamentos usados (Quadro 1), de modo que, sob essas condições, é possível obter altas produções de grãos com a adição de baixas quantidades de nutrientes adicionadas via DLS. Isso ocorreu no ano agrícola 2006/2007, onde, mesmo com a aplicação de menores quantidades de N e P para a cultura do milho, a produção de grãos foi semelhante ao ano de 2003/2004 e superior ao ano de 2004/2005, nos quais foram aplicadas maiores quantidades de nutrientes, especialmente de N e P (Quadro 2).

Quadro 3. Produção de matéria seca e quantidade acumulada de N, P e K no tecido das culturas submetidas à aplicação de 0, 20, 40 e 80 m<sup>-3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS), adicionados antes da implantação de cada cultivo em cinco anos agrícolas.

Dose de DLS m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Produção de matéria seca e acúmulo de nutriente												--Rec. Aparente <sup>1</sup> --		
	-----Aveia preta-----				-----Milheto-----				-----Feijão preto-----				N	P	K
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			-----%-----		
-----Terceiro ano agrícola (2002/2003)-----															
0	3,64	67,2	8,7	58,6	4,51	37,7	8,1	72,8	0,68	24,7	2,2	13,7	-	-	-
20	7,58	134,1	18,2	125,1	9,96	86,5	19,0	165,7	1,37	46,3	5,1	27,5	64	50	707
40	9,50	168,3	24,5	156,8	9,50	81,7	23,1	182,9	2,30	87,9	9,3	46,8	48	41	494
80	10,00	171,4	28,5	191,1	16,20	177,7	35,2	311,8	3,07	99,9	11,7	76,0	37	30	443
Teste F	* <sup>2</sup>	**	**	**	*	**	**	**	*	**	**	**			
-----Quarto ano agrícola (2003/2004)-----															
	-----Aveia preta + Ervilhaca-----				-----Milho-----				--Rec. Aparente--						
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K				
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			-----%-----						
0	4,71	108,2	7,9	69,1	6,57	58,1	8,1	57,8	-	-	-				
20	7,94	210,2	18,9	134,3	8,94	78,5	12,6	86,0	90	52	286				
40	8,29	218,0	22,2	132,2	10,70	118,7	16,8	114,8	63	38	183				
80	13,51	416,8	41,2	258,2	12,12	159,3	21,6	168,3	75	39	229				
Teste F	*	*	**	**	**	*	**	**	**	**	**				
-----Quinto ano agrícola (2004/2005)-----															
	-----Aveia preta + Ervilhaca-----				-----Milho-----				--Rec. Aparente--						
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K				
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			-----%-----						
0	2,40	29,1	5,4	40,5	5,13	46,6	7,9	53,6	-	-	-				
20	3,48	61,8	8,9	67,5	8,04	74,4	13,5	95,1	70	10	177				
40	3,68	65,4	10,8	69,5	10,92	109,2	24,0	142,1	58	12	152				
80	4,48	96,9	15,4	102,3	15,08	172,5	37,8	190,8	56	11	129				
Teste F	*	*	**	**	*	*	**	**	**	**	**				
-----Sexto ano agrícola (2005/2006)-----															
	-----Aveia preta-----				-----Feijão preto-----				-----Crotalária-----				--Rec. Aparente--		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			-----%-----		
0	2,59	34,4	4,7	38,5	1,37	32,7	3,3	26,5	1,75	39,3	5,2	11,2	-	-	-
20	4,78	59,0	11,0	76,2	3,03	71,5	8,0	73,8	2,97	58,4	11,2	28,3	61	5	146
40	5,15	70,2	16,0	81,4	3,11	74,1	11,5	70,2	2,87	68,4	13,2	26,3	37	5	73
80	6,23	104,7	21,8	114,0	4,69	110,6	16,7	115,5	2,93	66,0	15,0	43,5	36	4	70
Teste F	**	**	**	**	**	**	**	**	*	*	**	*			
-----Sétimo ano agrícola (2006/2007)-----															
	-----Aveia preta-----				-----Milho-----				-----Aveia preta-----				--Rec. Aparente--		
	MS	N	P	K	MS	N	P	K	MS	N	P	K	N	P	K
	Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			Mg ha <sup>-1</sup>	-----kg ha <sup>-1</sup> -----			-----%-----		
0	4,04	73,1	10,1	38,5	3,66	22,8	8,8	37,6	3,01	42,5	5,9	30,9	-	-	-
20	5,89	136,0	19,6	70,2	6,60	48,7	21,8	62,9	4,11	78,5	12,6	52,7	108	18	104
40	6,96	202,8	23,5	70,2	7,19	72,0	24,1	69,8	4,80	118,1	15,2	52,8	110	11	57
80	7,54	218,9	23,0	120,3	8,78	87,2	34,9	131,9	5,52	160,5	18,4	73,9	71	8	72
Teste F	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	*			

<sup>(1)</sup> Recuperação aparente = [(quantidade de nutriente absorvido na dose - quantidade de nutriente absorvido no tratamento sem dejetos)/quantidade de nutriente adicionado via dejetos]x100; <sup>(2)</sup> \* e \*\* indicam que os coeficientes de determinação foram significativos pelo teste F ao nível de 5 e 1 % de probabilidade de erro, respectivamente, para as equações de regressão quadráticas.

Uma das explicações para esses resultados é o acúmulo de nutrientes no solo em função das aplicações sucessivas de DLS, como observado no solo ao longo da condução do experimento (Quadro 1). Os dados apresentados demonstram que as aplicações sucessivas de DLS durante oito anos aumentaram os teores de matéria orgânica, K, Ca e Mg trocáveis, bem como o teor de P disponível para as plantas, como também observado por Ceretta et al. (2010), Lourenzi et al. (2011) e Lourenzi et al. (2013). Contudo, a recuperação aparente de nutrientes pelas culturas foi, em geral, inversamente proporcional à dose de DLS aplicada

(Quadro 3). Para o N, a recuperação aparente foi, em média, de 73, 63 e 55% do total de N aplicado nas doses de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, respectivamente.

Em relação ao P, a recuperação aparente foi, em média, de 23, 21 e 18% para as mesmas doses, respectivamente, e as maiores recuperações ocorreram nos primeiros anos agrícolas. Isso se deve as altas quantidades de P adicionado ao solo via DLS (Quadro 2) e a menor exigência de P pelas plantas (em relação ao N e K), o que provocou acúmulo desse nutriente no solo na medida em que foram realizadas as sucessivas aplicações de DLS (Quadro 1), como observado por Ceretta et al. (2010) e, com isso, a cultura subsequente torna-se menos dependente do P aplicado via DLS, reduzindo a recuperação aparente ao longo do tempo. Em contrapartida, a recuperação aparente de K foi, em média, de 287, 186 e 184% para as doses de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, respectivamente. Dessa forma, verificou-se que as culturas absorveram, além do K aplicado via DLS, o K trocável presente no solo (Ceretta et al., 2003; Lourenzi et al., 2013).

As plantas de cobertura de solo, cultivadas ao longo dos anos, aumentaram a produção de matéria seca com a aplicação de DLS, com destaque para o milho, com 16,2 Mg ha<sup>-1</sup> no ano agrícola de 2002/2003, quando submetido a aplicação de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS (Quadro 3). Também foram obtidas produções expressivas de matéria seca, superiores a 10 Mg ha<sup>-1</sup>, no cultivo da aveia (2003/2004) e no cultivo consorciado de aveia+ervilhaca (2003/2004). Os acréscimos médios na produção de matéria seca, em todas as culturas, com o uso dos DLS foram de 84, 108 e 168% para as doses de 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Aita et al. (2006), que observaram incremento de 104% na produção de MS de aveia com a aplicação de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS. A presença de plantas de cobertura de solo em rotação com culturas comerciais é muito importante porque significa maior ciclagem de nutrientes (Rocha et al., 2012). Além disso, em função das quantidades produzidas de matéria seca com o uso de DLS neste trabalho, é possível manter uma cobertura vegetal sobre o solo, com todos os benefícios para a conservação do solo, maior infiltração de água e acréscimo na quantidade de carbono armazenado no solo, que resulta em maior atividade microbiana.

#### **4.6 Conclusões**

1. O aumento da dose de dejetos líquidos de suínos aplicada ao longo de anos promove o incremento da disponibilidade de nutrientes, notadamente de fósforo, mas também de elementos potencialmente tóxicos às plantas, como é o caso do cobre e zinco.

2. A recuperação aparente de nutrientes pelas culturas de grãos comerciais e de cobertura do solo diminui à medida que aumenta o número de aplicações de doses de dejetos líquido de suínos no solo.

3. A produção de matéria seca acumulada das culturas e a produção de grãos de milho foram maiores com a dose anual de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos líquido de suínos. Entretanto, a produtividade de grãos do feijoeiro aumenta até  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  de dejetos líquido de suínos, evidenciando que, na definição da dose, deve ser considerada a cultura a ser estabelecida.

#### 4.7 Agradecimentos

Ao CNPq e à FAPERGS, pela disponibilidade de recursos financeiros que possibilitaram a realização do experimento.

#### 4.8 Literatura Citada

- ADELI, A.; BOLSTER, C.H.; ROWE, D.E.; McLAUGHLIN, M.R. & BRINK, G.E. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. *Soil Science*, 173:223-235, 2008.
- AITA, C.; PORT, O. & GIACOMINI, S.J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:901-910, 2006.
- BRUNETTO, G.; COMIN, J.J.; SCHMITT, D.E.; GUARDINI, R.; MEZZARI, C.P.; OLIVEIRA, B.S.; MORAES, M.P.; GATIBONI, L.C.; LOVATO, P.E. & CERETTA, C.A. Changes in soil acidity and organic carbon in a Sandy Typic Hapludalf after medium-term pig-slurry and deep-litter application. *R. Bras. Ci. Solo*, 36: 1620-1628, 2012.
- CASSOL, P.C.; GIANELLO, C. & COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *R. Bras. Ci. Solo*, 25:635-644, 2001.
- CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R. & VIEIRA, F. C. B. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:729-735, 2003.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L. & BERWANGER, A.L. Dejetos líquido de suínos: I - perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35:1296-1304, 2005.
- CERETTA, C.A.; LORENSINI, F.; BRUNETTO, G.; GIROTTO, E.; GATIBONI, L.C.; LOURENZI, C.R.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G. & MIOTTO, A.

- Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 45:593-602, 2010.
- CHANTIGNY, M.; H.; ANGERS, D.A.; BÉLANGER, G.; ROCHETTE, P.; HAMEL, N.E.; BITTMAN, S.; BUCKLEY, K.; MASSÉ, D. & GASSER, M.O. Yield and nutrient export of grain corn fertilized with raw and treated liquid swine manure. *Agron. J.*, 100:1303-1309, 2008.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC - CQFSRS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10 ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004. 400 p.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. Acompanhamento da safra brasileira – Grãos. Quarto levantamento, 2010.
- DONEDA, A.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J.; MIOLA, E.C.C.; GIACOMINI, D.A.; SCHIRMANN, J. & GONZATTO, R. Fitomassa e decomposição de resíduos de plantas de cobertura puras e consorciadas. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1714-1723, 2012.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DE PROTEÇÃO AMBIENTAL/RS - FEPAM. Programas e Projetos - Gestão de Ativos Ambientais. Disponível em: <[http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gestao\\_ativos.asp](http://www.fepam.rs.gov.br/programas/gestao_ativos.asp)>. Acesso em 22 mar. de 2008.
- GATIBONI, L.C.; BRUNETTO, G.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D.S.; CERETTA, C.A. & BASSO, C.J. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:1753-1761, 2008.
- GIACOMINI, S.J. & AITA, C. Cama sobreposta e dejetos líquidos de suínos como fonte de nitrogênio ao milho. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:195-205, 2008.
- GUARDINI, R.; COMIN, J.J.; RHEINHEIMER, D.S.; GATIBONI, L.C.; TIECHER, T.; SCHMITT, D.E.; BENDER, M.A.; FILHO, P.B.; OLIVEIRA, P.A.V. & BRUNETTO, G.. Phosphorus accumulation and pollution potential in a Hapludult fertilized with pig manure. *R. Bras. Ci. Solo*, 36:1333-1342, 2012.
- GUILLOU, C.L.; ANGERS, D.A.; MARON, P.A.; LETERME, P.; MENASSERI-AUBRY, S. Linking microbial community to soil water-stable aggregation during crop residue decomposition. *Soil Biol. and Biochemistry*, 50:126-133, 2012.
- JUNIOR, T.J.P & VENZON, M. 101 Culturas. Manual de tecnologias agrícolas. Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais, 2007, 800p.

- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MORTELE, D.F. & RHEINHEIMER, D. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1003-1010, 2007.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; TRENTIN, G.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L. & BRUNETTO, G. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry applications. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1827-1836, 2011.
- LOURENZI, C.R.; CERETTA, C.A.; SILVA, L.S.; GIROTTO, E.; LORENSINI, F.; TIECHER, T.L.; DE CONTI, L.; TRENTIN, G. & BRUNETTO, G. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *R. Bras. Ci. Solo*, 37:157-167, 2013.
- MITCHELL, W.W. & TEEL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.*, 69:569-573, 1977.
- MOREIRA, F.M. de S.; SIQUEIRA, J.O. *Microbiologia e Bioquímica do Solo*. 2.ed. atual. e ampl. Lavras: Ufla, 2006. 729p.
- PAYET, N.; FINDELING, A.; CHOPART, J.L.; FEDER, F.; NICOLINI, E.; MACARY, H.S. & VAUCLIN, M. Modelling the fate of nitrogen following pig slurry application on a tropical cropped acid soil on the Island of Réunion (France). *Agric. Ecosyst. Environ.*, 134:218-233, 2009.
- ROCHA, E. O.; CALIJURI, M.L.; SANTIAGO, A.F.; ASSIS, L.C. & ALVES, L.G.S. The contribution of conservation practices in reducing runoff, soil loss, and transport of nutrients at the watershed level. *Water Resour. Manag.*, 26:3831-3852, 2012.
- SCHERER, E.E. Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: Bases para produção dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1998. 48p. (Boletim Técnico, 99)
- SCHERER, E.E.; NESI, C.N. & MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34:1375-1383, 2010.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. *Análise de solos, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TIECHER, T.; BRUNETTO, G.; CERETTA, C.A.; COMIN, J.J.; GIROTTO, E.; MIOTTO, A.; MORAES, M.P.; BENEDETT, L.; FERREIRA, P.A.A.; LOURENZI, C.R. & COUTO, R.R. Forms and accumulation of copper and zinc in a sandy typic Hapludalf

soil after long-term application of pig slurry and deep litter. R. Bras. Ci. Solo, 37:812-824, 2013.

## **5 ESTUDO II – Estoque e distribuição de carbono em frações químicas e físicas da matéria orgânica e composição química de ácidos húmicos após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em solos subtropicais<sup>2</sup>**

### **5.1 Resumo**

Aplicações sucessivas de dejetos de suínos como fonte de nutrientes em lavouras pode provocar alterações quantitativas e qualitativas na matéria orgânica do solo (MOS). O estudo objetivou determinar o impacto de aplicações sucessivas de dejetos de suínos no estoque e na qualidade do C nas frações químicas e físicas da MOS em dois ambientes subtropicais, com distintas características texturais. O estudo foi realizado com amostras de solo de dois experimentos conduzidos no Sul do Brasil. No primeiro experimento, em Argissolo Vermelho Distroférico arênico, foram realizadas 19 aplicações das doses de 0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS), de maio de 2000 a janeiro de 2008. No segundo experimento, em Latossolo Vermelho Distroférico típico, foram realizadas seis aplicações das doses de 0, 8 e 16 Mg ha<sup>-1</sup> de compostagem de maravalha com DLS (CDS) e adubação mineral (NPK), de setembro de 2005 a agosto de 2011. Nos dois experimentos foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-4, 4-8, 8-12, 12-16 e 16-20 cm. As amostras foram submetidas aos fracionamentos físico e químico da MOS, determinados os estoques de C nas frações e a composição dos ácidos húmicos por análises espectroscópicas. As aplicações de dejetos de suínos promoveram incremento nos estoques e na capacidade de retenção de C nos solos avaliados. Além disso, ocorreram alterações na distribuição do C nas frações físicas e químicas da MOS. Para o Argissolo, as maiores proporções de C foram observadas nos ácidos fúlvicos e ácidos húmicos, enquanto que para o Latossolo as maiores proporções de C foram observadas na fração humina.

*Palavras-chave:* retenção de carbono, silte, argila, substâncias húmicas, FTIR.

### **5.2 Introdução**

A Região Sul do Brasil é responsável por 54% da produção nacional de suínos (Abipecs, 2011). Os dejetos são armazenados em esterqueiras ou utilizados em compostagem e, posteriormente, são distribuídos sobre a superfície do solo cultivado com culturas anuais ou pastagens. Entretanto, como a nutrição de plantas e as questões ambientais são influenciadas pela capacidade do solo em reter C, é importante que alterações nas características do solo,

---

<sup>2</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Geoderma (Anexo B).



especialmente aquelas relacionadas com a matéria orgânica, sejam avaliadas quantitativa e qualitativamente. Uma das consequências das aplicações dos dejetos, ao longo do tempo, é o incremento do teor de carbono orgânico total do solo ( $C_{total}$ ) (Adeli et al., 2008; Lou et al., 2011; Lourenzi et al., 2011; Mellek et al., 2010). Além disso, os dejetos possuem nutrientes em sua composição e, por isso, quando aplicados no solo podem incrementar a produção de biomassa de culturas, promovendo o aumento de C em solos (Koga e Tsuji, 2009).

Na análise qualitativa da matéria orgânica do solo (MOS) a composição química é condicionada, principalmente, pelo ambiente pedogênico, vegetação e uso do solo e a atividade antropogênica (Dick et al., 2008; Dobbss et al., 2009), na qual se insere o uso de dejetos, sendo determinantes à MOS. Além disso, a dinâmica do  $C_{total}$  também é afetada, principalmente, por fatores climáticos, como a temperatura e a umidade, pelo tipo de resíduo adicionado e pelo manejo adotado (Hevia et al., 2003; Maillard e Angers, 2014). Entretanto, o tipo de solo é especialmente importante no que se refere à quantidade e a composição mineralógica da fração argila (Bruun et al., 2010; Laganière et al., 2010).

As interações organominerais, especialmente com óxidos de Fe e Al (Eusterhues et al., 2005; Santana et al., 2011; Schöning et al., 2005), podem estabilizar o C no solo por dificultarem a acessibilidade de enzimas e de microrganismos ou conferirem uma estabilidade química aos compostos orgânicos (Bruun et al., 2010; Lutzow et al., 2006; Kaiser e Guggenberg, 2007). Dessa forma, solos com teores de argila mais elevados, como o Oxisol do presente estudo, podem apresentar maiores teores de  $C_{total}$  (Mujuru et al., 2013), especialmente ligado a frações físicas mais estáveis, como os óxidos e hidróxidos de Fe e Al da fração argila.

A adoção de sistema plantio direto nas áreas que recebem aplicações de dejetos de suínos favorece o acúmulo de  $C_{total}$  nas camadas superficiais do solo (Adeli et al., 2008; Lourenzi et al., 2011; Mellek et al., 2010), afetando o estoque de C e podendo alterar a distribuição do C entre as frações físicas e químicas da matéria orgânica do solo (Dias et al., 2007; Mujuru et al., 2013). Por outro lado, em solos com textura arenosa pode ocorrer migração de C para maiores profundidades (Lourenzi et al., 2011; Mellek et al., 2010), devido à pouco expressiva interação organomineral nas camadas superficiais do solo. Entretanto, para que isso possa acontecer são necessárias adições constantes de C no solo, pelas aplicações de dejetos ou pela biomassa das culturas (Koga and Tsuji, 2009).

Aplicações sucessivas de dejetos no solo também podem alterar a composição química e a distribuição do C nas frações químicas da matéria orgânica do solo, uma vez que os dejetos de suínos apresentam em sua composição, altas concentrações de matéria orgânica

dissolvida (Hsu e Lo, 1999), com presença destacada de grupos alifáticos funcionalizados, especialmente nos ácidos húmicos dos dejetos (Hernandez et al., 2006). Entretanto, quando avaliaram os efeitos do uso de dejetos de suínos sobre as características químicas dos ácidos fúlvicos do solo, Hernandez et al. (2007) observaram que os dejetos apresentam efeitos limitados sobre a composição das substâncias húmicas do solo. Por outro lado, a aplicação de dejetos líquidos de suínos foi capaz de promover uma diminuição nos grupos funcionais ácidos, como os fenólicos e carboxílicos, dos ácidos húmicos (Hernandez et al., 2006) e fúlvicos do solo (Hernandez et al. (2007).

O estudo objetivou avaliar o impacto de aplicações sucessivas de dejetos de suínos na forma líquida e na forma de compostagem no estoque de C e na composição química e estrutural das frações químicas e físicas da MOS em dois ambientes subtropicais, com distintas características texturais.

### 5.3 Material e Métodos

#### 5.3.1 Descrição dos experimentos e amostragem de solo

O estudo foi realizado com amostras de solo de dois experimentos conduzidos no Sul do Brasil. O primeiro experimento foi conduzido em Santa Maria (Latitude S 29° 43'; Longitude W 53° 42'), Estado do Rio Grande do Sul, região Sul do Brasil, em um Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2006), com textura arenosa. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa 2, conforme classificação de Köppen. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar são a 19,2°C, 1708 mm e 82%, respectivamente. O experimento foi realizado no período de maio de 2000 a janeiro de 2008, em sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com três repetições. No período de oito anos foram realizadas 19 aplicações das doses de 0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquidos de suínos (DLS). As aplicações foram realizadas na superfície do solo antecedendo cada cultura na seguinte rotação: Aveia preta (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays L.*)/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), no ano agrícola de 2000/01 e 2001/02; Aveia preta/milheto (*Pennisetum americanum L.*)/feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*), em 2002/03; Aveia preta+ervilhaca (*Vicia sativa L.*)/milho em 2003/04 e 2004/05; Aveia preta/feijão preto/crotalária (*Crotalaria juncea L.*), em 2005/06; Aveia preta/milho/aveia preta, em 2006/07.

O segundo experimento foi realizado em Chapecó (Latitude S 27° 06; Longitude W 52° 40'), Estado de Santa Catarina, região Sul do Brasil, em um Latossolo Vermelho Distroférrico típico (Embrapa, 2006), com textura argilosa. O clima da região é subtropical

úmido, tipo Cfa, conforme classificação de Köppen. As médias anuais de temperatura, precipitação e umidade relativa do ar são correspondentes a 18,8°C, 1954 mm e 72%, respectivamente. O experimento foi realizado no período de setembro de 2005 a agosto de 2011, em sistema plantio direto. O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Ao longo dos seis anos foi implantada a mesma sucessão de culturas, composta por milho, feijão e aveia preta, sendo que foram realizadas seis aplicações superficiais das doses de 0, 8 e 16 Mg ha<sup>-1</sup> de compostagem de maravalha com DLS (CDS) e adubação mineral (NPK), antecedendo sempre a cultura do milho. As características iniciais da camada 0-10 cm do solo no momento da instalação e as quantidades de nutrientes aplicados nos experimentos são apresentadas na tabela 1 e tabela 2, respectivamente.

Tabela 1. Propriedades físicas e químicas dos solos, na camada 0-10 cm, antes da instalação dos experimentos.

Propriedade	Argissolo	Latossolo
Argila, g kg <sup>-1</sup>	170	834
Silte, g kg <sup>-1</sup>	300	112
Areia, g kg <sup>-1</sup>	530	54
pH <sub>H2O</sub> (1:1)	4,7	6,2
M.O.S. (Walkley-Black), g kg <sup>-1</sup>	16,0	42,3
P (Mehlich I), mg dm <sup>-3</sup>	15,0	8,5
K (Mehlich I), mg dm <sup>-3</sup>	96	220
Cu <sup>2+</sup> (HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup> ), mg dm <sup>-3</sup>	1,2	nd
Zn <sup>2+</sup> (HCl 0,1 mol L <sup>-1</sup> ), mg dm <sup>-3</sup>	1,6	nd
Ca <sup>2+</sup> (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> ), cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,7	8,2
Mg <sup>2+</sup> (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> ), cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,1	4,6
Al <sup>3+</sup> (KCl 1 mol L <sup>-1</sup> ), cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,8	0,0
H+Al, cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,6	3,5
Saturação por Al, %	17,0	0,0
Saturação por Bases, %	42	79
CTC <sub>pH7</sub> , cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	9,6	17,0

nd= não determinado.

Nos dois experimentos, amostras de solos foram coletadas nas camadas de 0-4, 4-8, 8-12, 12-16 e 16-20 cm. As amostras foram coletadas em janeiro de 2008 e agosto de 2011 no primeiro e segundo experimento, respectivamente. O solo foi armazenado em recipientes plásticos com capacidade de 1 kg e mantidas a -2 °C desde o momento da coleta.

### 5.3.2 Fracionamento físico granulométrico da MOS

A separação das frações físicas granulométricas da matéria orgânica do solo (MOS) foi realizada nas camadas 0-4, 4-8 e 16-20 cm, segundo Roscoe & Machado (2002). Em frascos snap-cap, com capacidade de 100 mL, foram adicionados 5 g de solo, 7,5 g de areia (granulometria entre 1 e 2 mm; lavada com HCl 4 mol L<sup>-1</sup> e seca a 105°C) e 50 mL de água destilada. A suspensão foi agitada mecanicamente por 16 h e, posteriormente, passada em peneira com abertura de malha de 53 µm, a qual reteve a matéria orgânica particulada (MOPf - fração >53 µm), a areia do solo e a areia adicionada. A suspensão contendo as frações silte (53-2 µm) e argila (<2 µm) foi sonicada com energia necessária para a dispersão de 99% do teor de argila do Argissolo (677 J mL<sup>-1</sup>) e Latossolo (959 J mL<sup>-1</sup>).

Tabela 2. Quantidade total de matéria seca e nutrientes adicionados ao Argissolo e Latossolo via aplicação de dejetos de suínos e adubação mineral.

		Argissolo							
Tratamentos	MS <sup>1</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	DLS	Culturas							
Controle	-	57,9	-	-	-	-	-	-	-
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	34,6	109,2	1902,0	1248,5	727,4	653,8	756,4	34,2	42,8
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	69,1	147,3	3804,0	2497,0	1454,8	1307,6	1512,8	68,4	85,6
		Latossolo							
Tratamentos	MS <sup>1</sup> (Mg ha <sup>-1</sup> )		N	P	K	Ca	Mg	Cu	Zn
	CDS	Culturas							
Controle	-	47,6	-	-	-	-	-	-	-
8 Mg ha <sup>-1</sup>	48,0	102,6	667,2	437,4	468,0	576,0	206,4	10,1	15,5
16 Mg ha <sup>-1</sup>	96,0	124,7	1334,4	874,8	936,0	1152,0	412,8	20,1	31,0
NPK	-	80,0	780	480	480	-	-	-	-

<sup>(1)</sup> Matéria seca adicionada com as aplicações de dejetos de suínos e produzida pelas culturas; DLS= dejetos líquidos de suínos; CDS= compostagem com maravalha e dejetos líquidos de suínos.

A solução sonicada foi transferida para proveta com capacidade de 1 L e o volume foi completado com água destilada. As frações silte e argila foram separadas segundo a Lei de Stokes. As extrações de argila foram realizadas até a solução ficar translúcida, permanecendo na proveta apenas a fração silte. As frações de silte e argila foram separadamente floculadas com HCl 1 mol L<sup>-1</sup>, e após descarte do sobrenadante, as amostras foram secas em estufa com ar forçado a 60°C, pesadas e moídas em gral de ágata.

### 5.3.3 Fracionamento químico da MOS

O fracionamento químico da MOS foi realizado conforme método descrito por Almeida et al. (2012). Para a remoção da matéria orgânica particulada do fracionamento

químico da MOS (MOPq), com densidade  $<1,0 \text{ g cm}^{-3}$  e para a extração simultânea das substâncias não-húmicas, foram adicionados 50 mL de HCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  em 10 g de solo e a suspensão foi agitada por 2 h. Posteriormente, a suspensão foi centrifugada (10 min a 3.500 rpm) e o sobrenadante filtrado através de uma membrana de papel ( $0,45 \text{ }\mu\text{m}$ ) preso previamente, sendo o procedimento repetido por três vezes. A MOPq retida no filtro foi quantificada, descartada e o extrato contendo as substâncias não-húmicas extraíveis em HCl teve seu volume quantificado e armazenado a  $4^\circ\text{C}$ .

A seguir foram adicionados 50 mL de solução de NaOH  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  ao solo e a suspensão agitada por 3 h e, posteriormente, centrifugada (10 min a 3.500 rpm). Esse procedimento foi repetido até o sobrenadante ficar límpido (entre 10 e 12 extrações). O volume total do extrato alcalino foi mensurado e uma alíquota (20 mL) foi armazenada a  $4^\circ\text{C}$ . O restante da solução foi acidificada até pH 2,0 com solução de HCl  $4,0 \text{ mol L}^{-1}$  e a suspensão permaneceu em repouso por 24h para precipitação do ácido húmico (AH). O AH precipitado foi separado do ácido fúlvico (AF) por centrifugação (10 min a 3500 rpm); submetido a lavagem com água destilada (3 vezes) e seco em estufa com ar forçado a  $60^\circ\text{C}$ , obtendo-se a fração sólida do AH. A solução contendo o AF foi armazenada a  $4^\circ\text{C}$ .

Após as extrações dos AH e AF, a fração húmica (HU) foi fracionada em AH-like e AF-like (Song et al., 2011). Para isso, foram adicionados 50 mL de solução NaOH  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$  + ureia  $6,0 \text{ mol L}^{-1}$  (1:1 v/v) e a suspensão agitada por 3 h. O extrato de base+ureia foi separado por centrifugação (10 min a 3.500 rpm), sendo que o procedimento foi repetido até o sobrenadante ficar límpido (entre 6 e 8 extrações). O volume total do extrato alcalino foi mensurado e uma alíquota (20 mL) foi armazenada a  $4^\circ\text{C}$ . O extrato alcalino obtido, fração mais hidrofílica da HU, foi acidificado até pH 2,0 com solução de HCl  $4,0 \text{ mol L}^{-1}$  e deixado decantar por 24 h para precipitação do AH-like. O AH-like precipitado foi separado do AF-like por centrifugação (10 min a 3.500 rpm), submetido à lavagem com água destilada (3 vezes) e seco em estufa a  $60^\circ\text{C}$ , obtendo-se a fração sólida do AH-like. A solução contendo o AF-like foi armazenada a  $4^\circ\text{C}$ . As amostras com a matéria orgânica insolúvel em NaOH+Ureia, que corresponde ao compartimento químico mais hidrofóbico da HU, foram secas em estufa com ar forçado a  $60^\circ\text{C}$  e armazenadas em potes de acrílico para posterior análise.

#### 5.3.4 Estoque de carbono nas frações da MOS

Nas frações físicas da MOS os teores de MOPf ( $>53 \text{ }\mu\text{m}$ ) foram determinados gravimetricamente após aquecimento em mufla a  $550^\circ\text{C}$  durante 4 h. Para a obtenção dos

teores de C na MOPf ( $C_{MOPf}$ ), os teores foram divididos por 1,724 (fator de Van Bemmelen), assumindo que 58% da matéria orgânica do solo é composta por C. Os teores totais de C no solo ( $C_{total}$ ) e nas frações silte ( $C_{silte}$ ) e argila ( $C_{argila}$ ), foram determinados em analisador elementar de combustão seca (modelo FlashEA 1112 Thermo Finnigan).

O teor de C da MOPq ( $C_{MOPq}$ ) foi obtido pela divisão do teor de MOPq por 1,724 (fator de Van Bemmelen). Nas frações líquidas AF ( $C_{AF}$ ) e AF-like ( $C_{AF-like}$ ) foi determinado o teor de C na solução utilizando-se um Thermo HiPerTOC autoanalyser, version 1.3.2. Para as frações AH ( $C_{AH}$ ), AH-like ( $C_{AH-like}$ ) e HU ( $C_{HU}$ ) os teores de C foram determinados em analisador elementar por combustão seca modelo EA 1108.

Os estoques de C nas frações químicas e físicas da matéria orgânica do solo foram calculados pela equação 1 (Canellas et al., 2007):

$$EC = [C] \times L \times d \times 10 \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde: [C] = concentração de C em  $\text{g kg}^{-1}$ ; L = espessura da camada de solo, em metros; D = densidade da camada de solo, em  $\text{Mg m}^{-3}$ .

Os teores de  $C_{silte}$  e  $C_{argila}$  foram relacionados com o  $C_{total}$  em cada tratamento estudado e os dados foram ajustados pelo modelo que apresentou melhor ajuste dentre as equações exponenciais abaixo:

$$C_{fração} = a + b(1 - e^{-cC_{total}}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$C_{fração} = a(1 - e^{-bC_{total}}) \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde a, b e c são constantes e  $C_{total}$  representa a concentração de C no solo ( $\text{g kg}^{-1}$ ). A máxima capacidade de retenção de C ( $C_{fração}$ ) nas frações de silte e argila foram calculadas pelas equações assumindo que  $C_{total}$  tende ao infinito.

### 5.3.5 Análises espectroscópicas

Para as amostras de AH e AH-like foram obtidos os espectros de Fourier transform infrared (FTIR) em pastilhas contendo 1 mg de amostra e 400 mg de KBr (seco a  $105^{\circ}\text{C}$ ). Os espectros de FTIR foram registrados no intervalo espectral de  $4000-400 \text{ cm}^{-1}$ , 64 scans e resolução de  $2 \text{ cm}^{-1}$  em um aparelho Nicolet (Madison, WI) 5PC FTIR spectrophotometer, utilizando o software Omnic 1.2. A atribuição das bandas de absorção foi realizada segundo Tan (1996).

Os teores de cinzas nos AH e AH-like foram determinados gravimetricamente após aquecimento em mufla a  $550^{\circ}\text{C}$  durante 4 h. Os teores de C, N, H, e S do AH foram determinados em triplicata utilizando o Fisons Instrument elemental analyser model EA 1108

e descontando os teores de cinzas. O teor de O foi calculado da seguinte maneira:  $O \% = 100 - (C + N + H + S) \%$ . A razão E4/E6 foi calculada como a razão entre as absorvâncias nos comprimentos de onda de 465 e 665 nm medidos em um Spectrophotometer Perkin Elmer model Lambda 15 UV-Vis em solução contendo 3,0 mg de amostra (AH e AH-like) dissolvidos em 10 mL de  $\text{NaHCO}_3$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , com pH ajustado para 8,0.

### 5.3.6 Análise estatística

Os dados de  $C_{\text{total}}$  no solo, estoque de C nas frações físicas e químicas da MOS foram submetidos à análise de variância (ANOVA), empregando-se o sistema de análise estatística Sisvar, versão 4.0 (Ferreira, 2008). Quando a ANOVA foi significativa para os teores de  $C_{\text{total}}$ , foi obtida a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Quando a ANOVA foi significativa para os dados de estoque de C nas frações físicas e químicas da MOS, nas diferentes profundidades no mesmo tratamento, as médias foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade de erro. Para os dados de estoque de C nas frações físicas e químicas da MOS, na mesma profundidade e nos diferentes tratamentos, realizou-se uma análise de regressão e, quando significativa a 5 % de probabilidade de erro, ajustaram-se os modelos linear e quadrático, optando-se pelo que apresentou melhor ajuste.

## 5.4 Resultados e Discussão

### 5.4.1 Teores de $C_{\text{total}}$ no solo

As aplicações de dejetos de suínos e adubação mineral promoveram incrementos nos teores de  $C_{\text{total}}$  nos dois solos (Fig. 1). Os maiores incrementos de  $C_{\text{total}}$  foram observados nas camadas superficiais (0-4 cm) dos solos. Esse resultado se deve à aplicação de dejetos ter sido realizada superficialmente e à permanência dos resíduos das culturas na superfície do solo que também não foram incorporados (Adeli et al., 2008; Lou et al., 2011; Lourenzi et al., 2011; Mellek et al., 2010). Para o Argissolo, os incrementos de  $C_{\text{total}}$  nos tratamentos com dejetos foram observados também nas camadas mais profundas do solo (Fig. 1a). Provavelmente, o baixo teor de argila ( $170 \text{ g kg}^{-1}$ ) desse solo propicia a percolação da matéria orgânica particulada, além de reduzir a formação de interações organominerais, favorecendo a migração de compostos solúveis ao longo do perfil do solo, que se acumulam na forma de matéria orgânica humificada. Em contrapartida, o Latossolo apresentou incremento no teor de  $C_{\text{total}}$  apenas na camada superficial (Fig. 1b). Ao contrário do Argissolo, esse solo apresenta elevado teor de argila ( $834 \text{ g kg}^{-1}$ ), o que favorece a retenção de matéria orgânica por

interações organominerais na superfície, especialmente com óxidos e hidróxidos de Fe e Al (Bruun et al., 2010; Eusterhues et al., 2005; Santana et al., 2011; Schöning et al., 2005), como também dificulta a percolação de material particulado.

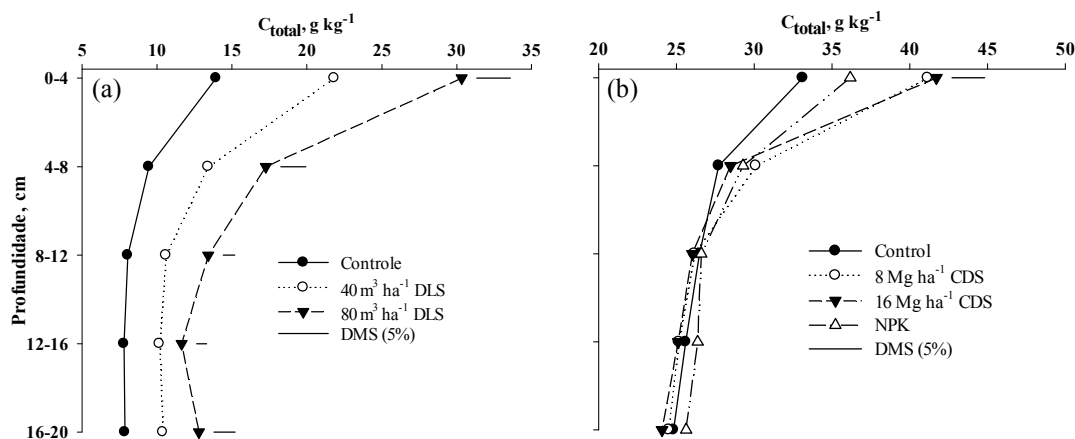


Figura 1. Carbono total ( $C_{total}$ ) no Argissolo (a) e Latossolo (b) submetidos à aplicação de dejetos de suínos. DLS= Dejetos líquidos de suínos; CDS= Compostagem de maravalha com dejetos líquidos de suínos; DMS= Diferença mínima significativa.

Os incrementos nos teores de  $C_{total}$  no solo apresentam relação direta com as taxas de adições de C no solo conforme observado por Koga e Tsuji (2009) e Maillard e Angers (2014). Esse resultado pode ser atribuído tanto ao aporte de C via aplicação de dejetos quanto via resíduo das culturas, uma vez que o valor observado para  $C_{total}$  aumentou com a dose do dejetos aplicada no Argissolo e, no Latossolo, foi maior quando do uso de dejetos, comparativamente com a utilização de adubo mineral (NPK) (Fig. 1). Essa justificativa é respaldada pelos resultados de Ceretta et al. (2005), que em um experimento com aplicações de doses crescentes de dejetos de suínos durante dois anos, verificaram incremento da produção de biomassa da parte aérea das culturas, com o aumento das doses de dejetos, o que contribuiu para o incremento dos teores de  $C_{total}$  no solo. Outros autores também constataram incremento no teor de C no solo devido à aplicação de dejetos de animais (Adeli et al., 2008; Koga e Tsuji, 2009; Lourenzi et al., 2011; Maillard e Angers, 2014) e devido ao aumento da produção de biomassa pelas culturas submetidas a aplicações de dejetos (Durigon et al., 2002; Koga e Tsuji, 2009).

#### 5.4.2 Estoque, distribuição e capacidade de retenção de C nas frações físicas da MOS

As aplicações de dejetos de suínos e adubação mineral promoveram incrementos nos estoques de  $C_{total}$ , alterações na distribuição e na capacidade máxima de retenção de C



( $C_{retenção}$ ) das frações físicas da MOS, sendo estes efeitos dependentes do tipo de solo e material orgânico adicionado no solo. No Argissolo o incremento no estoque de  $C_{total}$  ocorreu até 20 cm, enquanto que no Latossolo o incremento aconteceu apenas na camada de 0-4 cm (Tabela 3). Nessa camada, o incremento no estoque de  $C_{total}$  no solo foi de 89,1% para o Argissolo e de 17,7% para o Latossolo. No entanto, em valores absolutos os maiores estoques de  $C_{total}$  foram observados no Latossolo (Tabela 3) o que pode ser relacionado ao maior teor de argila nesse solo (Tabela 1).

O menor aumento percentual de  $C_{total}$  no Latossolo está relacionado à sua condição prévia à instalação do experimento: no tratamento controle o Latossolo apresentou estoque de  $C_{total}$  98,3% superior ao observado no controle do Argissolo, considerando a média das três camadas avaliadas. A contribuição da fração argila para o acúmulo de C é evidenciada pela proporção de C na fração  $C_{argila}$  da camada 0-4 cm no tratamento controle que foi 55,7% para o Argissolo e 82,7% para o Latossolo (Fig. 2). Bruun et al. (2010) verificaram que a mineralogia da fração argila e os teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al reduzem a labilidade da MOS e promovem a sua estabilização. Em solos do pampa argentino semiárido, Hevia et al. (2003) verificaram estreita correlação entre os teores de MOS e os teores de silte e argila. Esses autores também salientam que os teores de silte e argila explicaram apenas 19,0% da variação da MOS no solo sem cultivo, utilizado como referência, enquanto que para os solos cultivados explicaram 62,0% da variação.

Em ambos os solos, os maiores incrementos no estoque de C da camada 0-4 cm foram observados na fração  $C_{MOPf}$ , aumentando a proporção dessa fração em relação às proporções de  $C_{silte}$  e de  $C_{argila}$  (Fig. 2). No Argissolo, a fração  $C_{MOPf}$  apresentou um acréscimo de 9,7% e representou 26,0% do C na camada 0-4 m no tratamento com  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS. Esse resultado não é surpreendente, uma vez que o não revolvimento do solo usualmente promove incrementos nos estoques de  $C_{total}$  por incrementar a fração particulada, de maior labilidade (Adeli et al., 2008; Maillard e Angers, 2014). O compartimento da MOS mais sensível às alterações no uso e manejo do solo é a  $C_{MOPf}$  uma vez que apresenta menor proteção física e, conseqüentemente, maior exposição ao ataque da biomassa microbiana do solo (Poeplau e Don, 2013).

Na camada 0-4 cm, as frações físicas da MOS do Argissolo apresentaram incrementos de 179,7% para  $C_{MOPf}$ , 39,9% para  $C_{silte}$  e 62,6% para  $C_{argila}$  com a aplicação de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS, em relação ao tratamento controle. Já para o Latossolo, na mesma camada, os incrementos nas frações físicas foram de 119,5% para o  $C_{MOPf}$  e 52,2% para o e  $C_{silte}$  com a

aplicação de 16 Mg ha<sup>-1</sup> de CDS, em relação ao tratamento controle, enquanto que para o C<sub>argila</sub> não foram observados incrementos nos estoques de C (Tabela 3).

Tabela 3. Estoque de carbono nas frações físicas da matéria orgânica em solos submetidos a aplicações de dejetos de suínos.

Prof., cm	Argissolo			
	Controle	40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>		80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
	C <sub>MOPF</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,18 a <sup>1</sup> C <sup>2</sup>	2,14 n.s.B		3,30 aA
4-8	0,74 bB	1,57 A		1,45 bA
16-20	0,83 b	1,10		1,09 b
	C <sub>silte</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	2,03 aB	2,44 aA		2,84 aA
4-8	1,35 b	1,67 b		1,79 b
16-20	0,98 c	0,61 c		0,74 c
	C <sub>argila</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	4,04 n.s.C	5,42 aB		6,57 aA
4-8	4,14 B	3,90 bB		5,50 bA
16-20	4,08	4,10 b		4,19 c
	C <sub>total</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	8,53 aC	12,48 aB		16,13 aA
4-8	6,09 bC	8,37 bB		10,43 bA
16-20	5,31 bC	6,74 cB		7,98 cA
	Latossolo			
	Controle	8 Mg ha <sup>-1</sup>	16 Mg ha <sup>-1</sup>	NPK
	C <sub>MOPF</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	0,41 aB	0,29 aB	0,90 aA	0,17 aC
4-8	0,17 b	0,09 b	0,10 b	0,09 b
16-20	0,05 b	0,06 b	0,02 b	0,05 b
	C <sub>silte</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,78 aB	2,48 aA	2,71 aA	2,16 aB
4-8	1,32 b	1,60 b	1,61 b	1,41 b
16-20	0,68 c	1,01 c	0,98 b	0,88 c
	C <sub>argila</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	10,43 n.s.	10,04 n.s.	10,05 n.s.	10,07 n.s.
4-8	10,37	9,74	9,58	9,79
16-20	9,63	9,65	9,47	9,90
	C <sub>total</sub>			
	-----C, Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	15,11 aC	18,51 aA	17,79 aA	16,62 aB
4-8	12,65 b	13,54 b	12,15 b	13,46 b
16-20	11,76 c	11,96 c	11,32 b	12,54 b

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha=0,05$ ); <sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha=0,05$ ); n.s.= não significativo a 5% de probabilidade de erro.

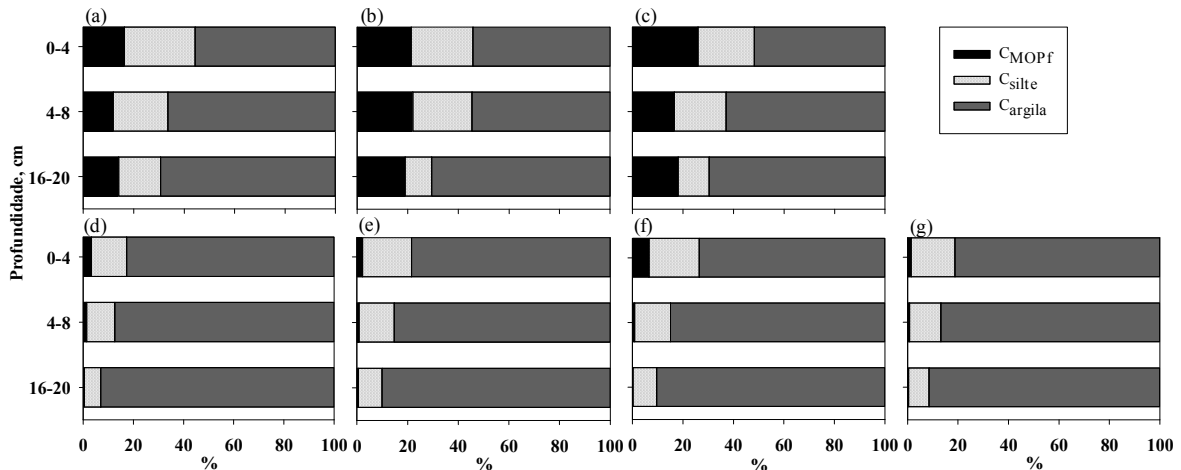


Figura 2. Distribuição do C nas frações físicas da matéria orgânica do Argissolo controle (a), com  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (b) e com  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS (c) e do Latossolo controle (d), com  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CDS (e), com  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CDS (f) e com adição de NPK (g). DLS: Dejeito líquido de suínos; CDS: compostagem de maravalha com dejeito líquido de suínos.

Em relação à capacidade máxima de retenção de C ( $C_{\text{retenção}}$ ) estimada em cada fração, os solos apresentaram comportamento diferenciado frente aos tratamentos. No Argissolo, a  $C_{\text{retenção}}$  das frações silte ( $C_{\text{retenção}}$ ) e argila ( $C_{\text{retenção}}$ ) aumentou com a aplicação da dose de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , em relação ao tratamento controle (Fig. 3a e 3c). Para a dose de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , os pontos da curva de saturação da fração argila tenderam a um alinhamento linear e, portanto, o valor de  $C_{\text{retenção}}$  estimado pela equação exponencial foi superestimado e não será discutido. No entanto, em todos os tratamentos, a curva de saturação da argila situou-se acima à da curva do silte, o que era esperado em função da maior área específica da fração argila. Em contrapartida, no Latossolo apenas a fração silte apresentou incrementos na  $C_{\text{retenção}}$  com o aumento das doses de CDS (Fig. 3d, 3e and 3f), com valores intermediários de  $C_{\text{retenção}}$  no solo com NPK (Fig. 3g). Além disso, a curva de saturação da fração silte ultrapassou a curva da fração argila para todos os tratamentos e o valor de  $C_{\text{retenção}}$  foi sempre maior do que o observado na respectiva  $C_{\text{retenção}}$  (Fig. 3d, 3e, 3f e 3g). Comparando-se os dois solos, verifica-se que a fração argila do Argissolo apresentou maiores valores de  $C_{\text{retenção}}$  do que a fração argila do Latossolo.

Esses resultados indicam que não é apenas a superfície disponível e a sua densidade de sítios sortivos que afetam retenção de C nas frações  $< 53 \mu\text{m}$  de MOS. Provavelmente nos solos avaliados nesse estudo, além da interação organo-mineral esteja ocorrendo também uma auto-associação da MOS via multicamadas, segundo o modelo proposto por Kleber et al.

(2007). Segundo esses autores a associação da MOS com minerais no solos pode ser explicada pelo conceito zonal, composto por três zonas distintas. A primeira é a *zona de contato*, onde a formação de complexo de esfera interna torna as associações organo-minerais mais estáveis, sendo favorecidas pela presença de grupos orgânicos funcionais anfífilicos (possuem uma região hidrofílica e outra hidrofóbica) e pela presença de materiais proteicos. As porções hidrofóbicas das moléculas anfífilicas adsorvidas diretamente às superfícies minerais são protegidas da fase aquosa polar através de associação com porções hidrofóbicas de outras moléculas anfífilicas, formando uma estrutura em bicamada na superfície o mineral, denominada *zona hidrofóbica*. No exterior hidrofílico dessa camada, as moléculas orgânicas formam uma região externa, ou *zona cinética*, e são retidas na estrutura mais fracamente por pontes catiônicas, ligações de hidrogênio e outras interações. Esse material orgânico na zona cinética apresenta altas taxas de troca com a solução do solo circundante, com tempos de residência de curta duração para fragmentos moleculares individuais.

O conceito zonal de interações organo-minerais oferece uma nova base para a compreensão e previsão da retenção de compostos orgânicos, incluindo contaminantes, em solos e sedimentos (Kleber et al., 2007). Dessa forma, o fato do incremento nos estoques de C e da  $C_{\text{retenção}}$ , motivado pela adição de materiais orgânicos no solo, ter se refletido tanto na fração silte quanto na argila no Argissolo é um aspecto muito importante tanto à nutrição de plantas, quanto para questões ambientais, que definem a qualidade do ambiente nestes solos com muito baixo teor de argila e, por isso, mais sensíveis à perturbação do homem.

#### 5.4.3 Estoque e distribuição de C nas frações químicas da MOS

As aplicações de dejetos de suínos e adubação mineral, além de aumentar os estoques de  $C_{\text{total}}$  no solo, também alteraram a distribuição das frações químicas na MOS. Esta alteração, no entanto, foi dependente do tipo de solo e do material orgânico adicionado. No Argissolo, os incrementos nos estoques de C ocorreram em todas as frações químicas. Em termos absolutos, os maiores estoques de C foram observados na fração AF, onde  $C_{\text{AF}}$  aumentou até 8 cm de profundidade (Tabela 4). Além disso,  $C_{\text{AF}}$  foi a fração que apresentou as maiores proporções no estoque de C no Argissolo, com valores acima de 33,0% em todos os tratamentos e camadas (Fig. 4). Em termos percentuais, os maiores incrementos no estoque de C foram observados na fração HU, e  $C_{\text{HU}}$  aumentou 251,1% na camada 0-4 cm com a aplicação de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS (Tabela 4). No Latossolo, houve incremento nos estoques de C apenas na camada 0-4 cm da fração AH ( $C_{\text{AH}}$ ) e nas camadas 0-4 e 4-8 cm da fração HU ( $C_{\text{HU}}$ ) (Tabela 5). Na camada 0-4 cm, os incrementos foram de 43,2 e 37,7% para o  $C_{\text{AH}}$  e

$C_{HU}$ , respectivamente. Além disso, as maiores proporções no estoque de C encontram-se na fração  $C_{HU}$  (Fig. 4), com valores acima de 40,0% em todos os tratamentos e camadas.

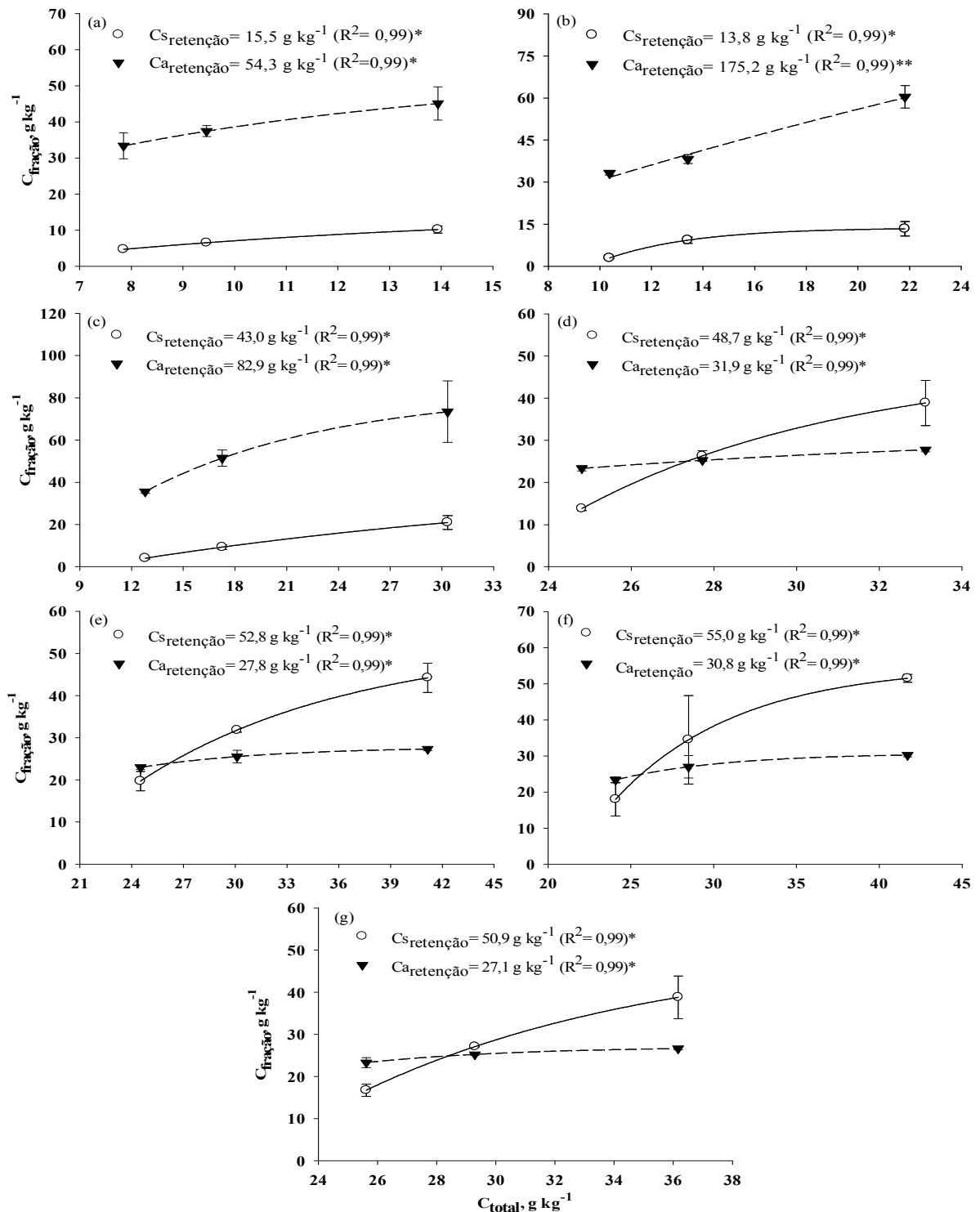


Figura 3. Relação entre os teores de  $C_{total}$  e os teores de  $C_{silte}$  e  $C_{cargila}$  no Argissolo controle (a), com  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (b) e com  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS (c) e no Latossolo controle (d), com aplicação de  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (e) e  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CDS (f) e com adição de NPK (g). \* Dados ajustados pela Eq. 2; \*\* Dados ajustados pela Eq. 3.

Tabela 4. Estoque de carbono nas frações químicas da matéria orgânica do Argissolo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos.

Prof., cm	Controle	40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>
<b>C<sub>MOPq</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,38 a <sup>1</sup> B <sup>2</sup>	1,37 aB	1,86 aA
4-8	1,14 bB	1,17 bB	1,58 bA
8-12	0,52 c	0,40 c	0,41 c
12-16	0,27 d	0,15 d	0,26 c
16-20	0,07 d	0,09 d	0,20 c
<b>C<sub>HCl</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	0,17 n.s.	0,17 a	0,16 b
4-8	0,14 B	0,19 aA	0,15 bB
8-12	0,14 B	0,12 bB	0,18 aA
12-16	0,17 A	0,12 bB	0,14 cB
16-20	0,18 A	0,14 bB	0,13 cB
<b>C<sub>AF</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	2,84 n.s.C	3,99 aB	5,16 aA
4-8	2,44 C	3,23 bB	4,53 aA
8-12	2,42	2,35 c	2,63 b
12-16	2,70	2,13 c	2,13 b
16-20	2,56	2,30 c	2,16 b
<b>C<sub>AH</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,12 aC	1,39 aB	2,50 aA
4-8	1,18 aB	0,91 bC	2,46 aA
8-12	1,20 a	0,97 b	1,08 b
12-16	0,81 b	0,91 b	0,80 b
16-20	0,68 b	0,65 b	0,63 b
<b>C<sub>AF-like</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	0,101 aA	0,118 aA	0,062 bB
4-8	0,053 b	0,051 b	0,056 b
8-12	0,022 cB	0,023 dB	0,087 aA
12-16	0,021 cB	0,032 cB	0,085 aA
16-20	0,022 cB	0,030 cB	0,059 bA
<b>C<sub>AH-like</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,08 aA	0,71 aB	0,72 aB
4-8	0,49 b	0,57 b	0,53 b
8-12	0,36 cB	0,28 cB	0,50 bA
12-16	0,29 cB	0,47 bA	0,36 cB
16-20	0,32 cB	0,51 bA	0,21 cC
<b>C<sub>HU</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	1,39 n.s.C	1,66 aB	4,88 aA
4-8	1,32 B	1,32 cB	2,00 bA
8-12	1,64	1,42 b	1,47 c
12-16	1,56 A	1,17 dB	1,47 cA
16-20	1,64 A	1,19 dB	1,47 cA
<b>C<sub>total</sub></b>			
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----			
0-4	8,53 aC	12,48 aB	16,13 aA
4-8	6,09 bC	8,37 bB	10,43 bA
8-12	5,17 bC	6,61 cB	8,10 cA
12-16	5,26 bC	6,60 cB	7,26 dA
16-20	5,31 bC	6,74 cB	7,98 cA

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha = 0.05$ ); <sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha = 0.05$ ); n.s.= não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 5. Estoque de carbono nas frações químicas da matéria orgânica do Latossolo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos.

Prof., cm	Controle	8 Mg ha <sup>-1</sup>	16 Mg ha <sup>-1</sup>	NPK
C <sub>MOPq</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	1,53 a <sup>1</sup>	1,58 n.s.	1,49 a	1,44 a
4-8	1,51 aA <sup>2</sup>	1,65 A	0,83 cB	0,78 bB
8-12	1,30 bA	1,10 A	1,14 bA	0,72 bB
12-16	0,90 cA	1,29 A	1,01 cA	0,61 bB
16-20	0,93 c	0,94	0,70 c	0,55 b
C <sub>HCl</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	0,19 n.s.	0,14 b	0,14 n.s.	0,14 n.s.
4-8	0,11	0,10 b	0,13	0,15
8-12	0,10	0,14 b	0,17	0,12
12-16	0,13	0,24 a	0,19	0,13
16-20	0,15	0,14 b	0,15	0,15
C <sub>AF</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	3,92 a	3,88 a	3,91 a	3,34 n.s.
4-8	3,57 a	3,42 b	3,27 b	3,13
8-12	3,28 a	3,31 b	3,04 b	2,82
12-16	3,17 a	3,04 b	3,46 b	3,39
16-20	2,42 b	3,27 b	3,31 b	3,30
C <sub>AH</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	2,13 aB	2,42 aB	3,05 aA	2,16 aB
4-8	1,28 b	1,83 b	1,34 b	1,41 b
8-12	0,73 b	1,11 c	1,32 b	1,12 b
12-16	0,83 b	1,30 c	1,31 b	1,22 b
16-20	0,82 b	1,16 c	1,02 b	0,99 b
C <sub>AF-like</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	0,097 a	0,096 a	0,088 a	0,112 a
4-8	0,040 b	0,055 b	0,068 a	0,079 b
8-12	0,036 b	0,024 c	0,032 b	0,036 c
12-16	0,032 b	0,026 c	0,028 b	0,031 c
16-20	0,017 b	0,019 c	0,029 b	0,031 c
C <sub>AH-like</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	0,52 n.s.	0,59 n.s.	0,59 n.s.	0,61 n.s.
4-8	0,52	0,54	0,55	0,54
8-12	0,51	0,49	0,46	0,51
12-16	0,46	0,46	0,44	0,45
16-20	0,34	0,40	0,42	0,48
C <sub>HU</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	5,92 aC	7,09 aB	8,15 aA	6,24 aC
4-8	4,69 bB	5,56 bA	5,25 bA	5,09 bA
8-12	4,35 b	4,74 c	4,47 b	4,55 c
12-16	4,47 b	4,89 c	4,89 b	4,69 c
16-20	4,37 b	4,65 c	4,54 b	4,63 c
C <sub>total</sub>				
-----Mg ha <sup>-1</sup> -----				
0-4	15,11 aD	18,51 aA	17,79 aB	16,62 aC
4-8	12,65 bB	13,54 bA	12,15 bB	13,46 bA
8-12	12,08 cA	11,76 cA	11,10 cB	12,23 bA
12-16	12,13 cB	12,28 cB	11,81 bB	12,91 bA
16-20	11,76 dB	11,96 cB	11,32 cB	12,54 bA

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha = 0.05$ ); <sup>(2)</sup> Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha = 0.05$ ); n.s.= não significativo a 5% de probabilidade de erro.

Provavelmente, as alterações nos equilíbrios físico-químicos do solo, em virtude da aplicação de dejetos, alteraram a dinâmica das substâncias húmicas em ambos os solos, como também observado por Santana et al. (2011), em estudo realizado em Latossolo submetido a três manejos distintos. O fato das maiores proporções de C terem sido observados como  $C_{AF}$ , no Argissolo, e  $C_{HU}$ , no Latossolo, sugere que em solos com baixos teores de argila o C encontra-se, preferencialmente, em frações mais funcionalizadas da MOS. Enquanto que em solos com maiores teores de argila há um predomínio de C em frações menos funcionalizadas e mais associadas com a matriz mineral.

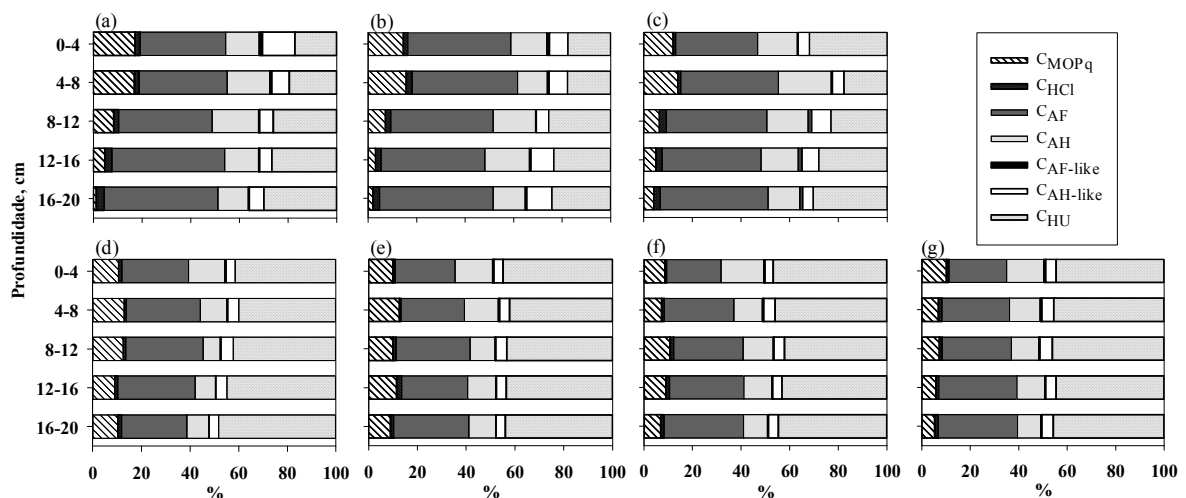


Figura 4. Distribuição do C nas frações químicas da matéria orgânica do Argissolo controle (a), com  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (b) e com  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de DLS (c) e do Latossolo controle (d),  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  (e), com  $16 \text{ Mg ha}^{-1}$  de CDS (f) e com adição de NPK (g). DLS: Dejeito líquido de suínos; CDS: Compostagem com maravalha e dejeito líquido de suínos.

A estabilização do C no solo pela interação com óxidos e hidróxidos de Fe e Al ocorre através da adsorção, aprisionamento ou formação de complexos (Kaiser e Guggenberger, 2007; Wagai e Mayer, 2007). Dessa forma, os teores de argila do solo, a mineralogia da fração argila e os teores de óxidos e hidróxidos de Fe e Al apresentam influencia significativa na redução da labilidade e aumento na estabilização do C no solo (Bruun et al., 2010). Esses aspectos são muito importantes na dinâmica dos elementos no solo, pois regulam a disponibilidade de nutrientes para as plantas e a transferência de nutrientes para ambientes aquáticos, sendo uma característica importante na determinação da capacidade do solo em suportar aplicações sucessivas de dejeito de suínos, tanto do ponto de vista nutricional quanto ambiental e os resultados evidenciam que, em áreas com solos mais arenosos, deve-se ter



maior monitoramento do impacto do uso continuado de dejetos porque é um ambiente mais frágil.

Diversos trabalhos têm demonstrado que as aplicações de dejetos aumentam a disponibilidade de nutrientes no solo, como observado por Adeli et al. (2008), Lourenzi et al. (2013) e Scherer et al. (2010), o que aumenta a transferência de nutrientes por escoamento superficial (Ceretta et al., 2010; Sweeney et al., 2012; Wang et al., 2013) e percolação (Carneiro et al., 2012; Girotto et al., 2013; Sorensen e Rubaek, 2012). Em estudo objetivando avaliar os efeitos da aplicação de diferentes fertilizantes na transferência de P por escoamento superficial, Wang et al. (2013) observaram que mais de 90% do P foi transferido na forma particulada.

Portanto, para o manejo adequado de dejetos no solo devem ser considerados aspectos como o teor de argila, a mineralogia do solo, teores e composição química da matéria orgânica do solo, porque são os principais constituintes do solo responsáveis pela adsorção de elementos. Além disso, práticas conservacionistas, como rotação de culturas e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo favorecem o acúmulo de matéria orgânica no solo, contribuindo para a infiltração de água e a redução das transferências de formas particuladas de nutrientes para ambientes aquáticos.

#### 5.4.4 Composição química dos ácidos húmicos

As aplicações de dejetos alteraram a composição química dos AH, especialmente em relação ao teor de N, que aumentou com a aplicação de dejetos e foi maior na camada 0-4 cm (Tabela 6). Por outro lado, o teor de O, que foi sempre menor na camada 0-4 cm, sofreu redução com a aplicação de dejetos, principalmente no Latossolo (Tabela 6). Os teores de N nos AH podem ser pela maior presença de compostos nitrogenados na matéria prima aplicada (Canellas et al., 2000), pois a concentração de N elevada nos dejetos de suínos, como observado por Adeli et al. (2008), Aita et al. (2006), Biau et al. (2012), Ceretta et al. (2010), Girotto et al. (2013), o que explica os incrementos nos teores de N do AH. No Argissolo foram observadas alterações no teor de C do AH apenas na camada 16-20 cm, enquanto que para o Latossolo foram observados incrementos de C no AH nas duas camadas analisadas (Tabela 6). O teor de H do AH foi maior na camada 0-4 cm para Argissolo e não foi afetado pelas aplicações de dejetos. No Latossolo a aplicação de dejetos promoveu diminuição do teor de H no AH da camada 0-4 cm e aumento na camada de 16-20 cm (Tabela 6).

Tabela 6. Análise elementar, razões atômicas e razão E4/E6 de ácidos húmicos de solos submetidos a aplicações de dejetos de suínos.

Tratamentos	Prof., cm	C H N O				C/N	O/C	H/C	(O+N)/C	E4/E6
		-----%-----								
Argissolo										
Controle	0-4	56,50 a <sup>1</sup>	5,70 a	2,74 b	34,74 d	24,15 b	0,46 d	1,21 a	0,50 c	3,20
Controle	16-20	51,29 c	4,69 b	1,76 d	42,26 a	34,10 a	0,62 a	1,10 b	0,65 a	3,37
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0-4	56,29 a	5,80 a	2,70 b	35,20 d	24,31 b	0,47 d	1,24 a	0,51 c	3,40
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	16-20	55,56 a	4,74 b	2,15 c	37,55 c	30,16 a	0,51 c	1,02 c	0,54 c	3,63
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	0-4	55,83 a	5,74 a	3,16 a	35,27 d	20,63 b	0,47 d	1,23 a	0,52 c	4,03
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	16-20	54,05 b	4,49 c	2,53 b	38,93 b	25,46 b	0,54 b	1,00 c	0,58 b	4,49
Latossolo										
Controle	0-4	52,04 b	6,00 c	2,93 b	39,04 a	20,76 c	0,56 b	1,38 b	0,61 a	5,80
Controle	16-20	49,88 b	5,88 d	1,67 d	42,57 a	34,87 a	0,64 a	1,41 b	0,67 a	5,12
8 Mg ha <sup>-1</sup>	0-4	54,69 a	5,75 d	3,43 b	36,12 b	18,58 c	0,50 c	1,26 c	0,55 b	5,69
8 Mg ha <sup>-1</sup>	16-20	55,61 a	6,97 a	2,19 c	35,24 b	30,14 b	0,48 c	1,51 a	0,51 b	4,80
16 Mg ha <sup>-1</sup>	0-4	55,82 a	5,70 d	4,04 a	34,44 b	16,12 c	0,46 c	1,22 c	0,52 b	6,18
16 Mg ha <sup>-1</sup>	16-20	49,50 b	6,18 c	1,72 d	42,60 a	33,83 a	0,65 a	1,50 a	0,68 a	4,96
NPK	0-4	56,12 a	6,07 c	3,16 b	34,66 b	20,76 c	0,46 c	1,30 c	0,51 b	6,13
NPK	16-20	51,57 b	6,36 b	2,11 c	39,95 a	28,84 b	0,58 b	1,48 a	0,62 a	4,85

<sup>1</sup> Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott Knott ( $\alpha=0.05$ ).

A relação C/N foi menor na camada 0-4 cm dos dois solos, entretanto, não foram observadas diferenças entre os tratamentos controle e com aplicação de dejetos e adubação mineral (Tabela 6). Cabe ressaltar que, em termos quantitativos, foram observados menores valores de relação C/N na camada 0-4 cm do Latossolo. Isso porque, em estudo objetivando avaliar a origem e a natureza do estoque de C em Latossolo, Freitas et al. (2000) observaram que a relação C/N varia de acordo com a granulometria do solo. Nos solos com granulometria mais fina são observadas menores relações C/N. Assim, as menores relações C/N observadas no Latossolo são devidas, principalmente, pela diferença textural entre os solos e indicam um maior grau de humificação da matéria orgânica desse solo.

No Argissolo e no Latossolo a razão atômica (O+N)/C não apresentou tendência de variação em função da aplicação de dejetos (Tabela 6) o que informa que o tratamento não afetou a hidrofobicidade/hifilicidade dos AH nos dois ambientes estudados. Quanto à razão O/C, os valores foram maiores na camada 16-20 cm do que na camada 04-cm independente do tratamento, o que indica a presença de AH mais funcionalizado em profundidade. Já para o Latossolo, ocorreu uma tendência de diminuição de O/C com a adição de dejetos (Tabela 6).

A razão atômica H/C do AH no Argissolo foi sempre maior na superfície e os tratamentos com dejetos promoveram sua diminuição apenas na camada 16-20 cm (Tabela 6). No Latossolo o comportamento foi inverso, os maiores valores de H/C foram sempre maiores na camada 16-20 cm e aumentaram nessa camada com a adição de dejetos. A razão atômica H/C pode ser empregada como um índice de aromaticidade comparativo do AH, onde valores maiores indicam menor grau de aromaticidade em comparação a valores menores (Canellas et al., 2000). Portanto, no Latossolo a adição de dejetos promoveu diminuição da aromaticidade de AH em profundidade, enquanto no Argissolo o efeito é contrário.

Além disso, os valores de H/C do AH foram sempre maiores no Latossolo do que no Argissolo. Portanto, o AH do Latossolo apresenta menor caráter aromático do que o AH do Argissolo e, conseqüentemente, maior proporção de grupos carboxílicos e um menor grau de condensação. Esse resultado é corroborado pelos valores da razão E4/E6 obtidos, que foram menores no Argissolo comparativamente ao AH do latossolo. A razão E4/E6, semelhante a razão atômica H/C, é utilizada como um índice de aromaticidade, onde valores maiores indicam menor grau de aromaticidade em comparação a valores menores.

Os espectros de FTIR de AH da camada de 0-4 e 16-20 cm do Argissolo e do Latossolo apresentaram o mesmo padrão (Fig. 5a, 5b, 5c e 5d), sendo identificadas as seguintes bandas de absorção e respectivas atribuições: banda larga em  $3400\text{ cm}^{-1}$  atribuída aos grupamentos OH em ponte; banda na região de  $2925\text{-}2846\text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento C-H alifático; banda em  $1720\text{ cm}^{-1}$  referente ao estiramento C=O do grupo carboxílico; banda na região em  $1660\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ , atribuída ao estiramento C=C aromático, podendo ocorrer alguma contribuição do estiramento de C=O dos grupos amida, quinonas e/ou cetonas conjugadas; banda em torno de  $1400\text{ cm}^{-1}$  devido ao estiramento C-H alifático; banda em torno de  $1260\text{ cm}^{-1}$  atribuída ao estiramento C-O e à deformação OH do grupo carboxílico; e banda em  $1030\text{ cm}^{-1}$  correspondente aos estiramentos de Si-O de impurezas inorgânicas.

As bandas de absorção na região de  $2925\text{-}2846\text{ cm}^{-1}$  foram mais intensas no AH do dejetos do que no Argissolo, enquanto que as bandas na região de  $1660\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$  foram mais intensas no AH solo (Fig. 5a e 5b). Isso confere ao AH do dejetos um caráter comparativamente mais alifático, como já observado por Hernandez et al. (2006). Assim, quando aplicado ao solo, que apresenta melhores condições de aeração em relação às condições anaeróbicas dos dejetos, podem favorecer as reações de oxidação que levam à formação de grupos funcionais oxigenados, como o carboxílico (Hernandez et al., 2006). Apesar disso, a aplicação de dejetos por oito anos induziu ligeiras alterações nos AH do Argissolo, em particular, o grupo alifático (Fig. 5a e 5b), sugerindo uma parcial incorporação

da fração do AH do dejetos ao AH do solo. Entretanto, para o Latossolo, não foi possível verificar alterações no AH após as aplicações de dejetos via os espectros de FTIR (Fig. 5c e 5d). A banda proeminente em  $1034\text{ cm}^{-1}$  e as bandas na região de  $3700\text{ cm}^{-1}$  nos espectros de AH deste solo indicam a presença de impurezas inorgânicas, as quais absorvem nessas regiões e mascaram as bandas dos grupos orgânicos.

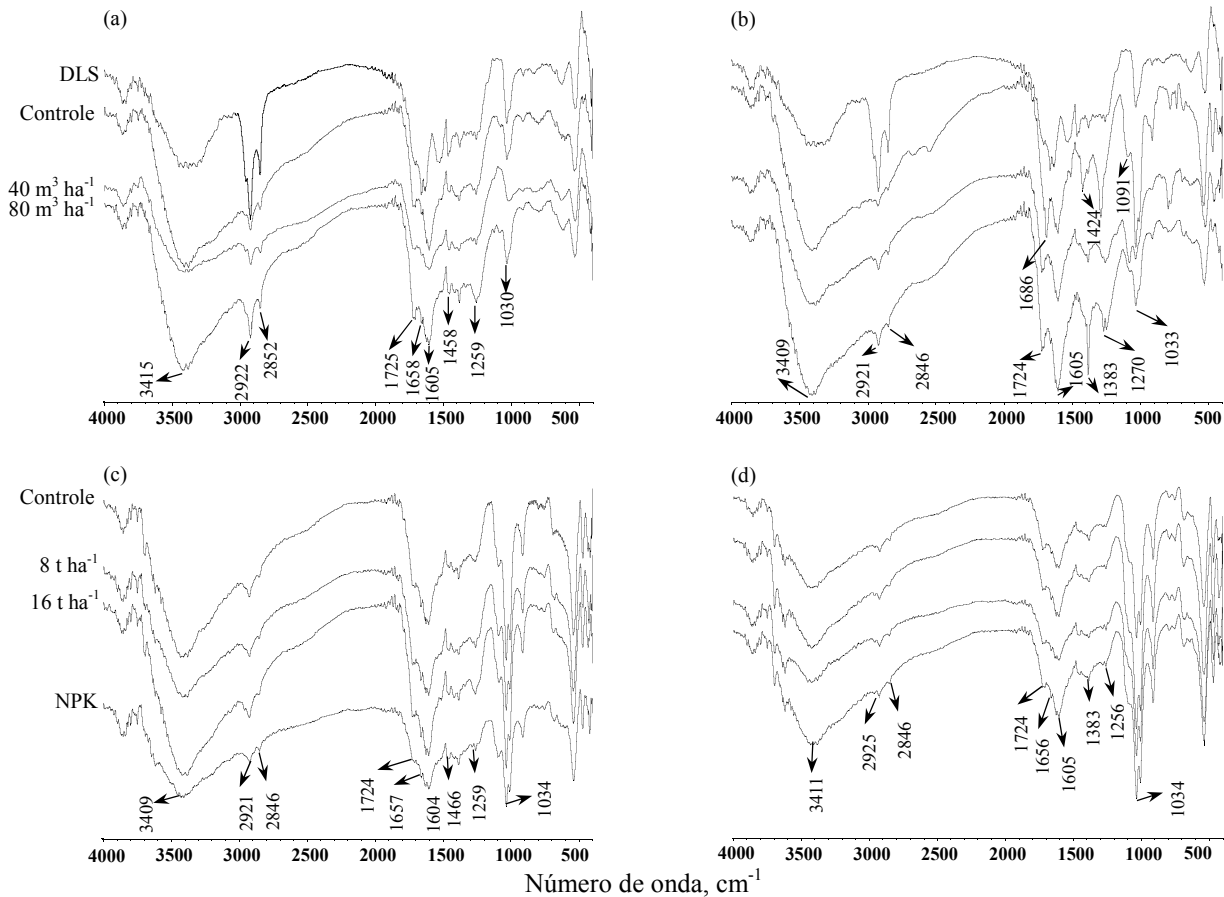


Figura 5. Espectros de FTIR da fração ácido húmico do Argissolo nas camadas 0-4 (a) e 16-20 cm (b) e do Latossolo nas camadas 0-4 (c) e 16-20 cm (d).

As aplicações de dejetos no solo resultam em efeitos diferentes quanto às alterações quantitativas e qualitativas na matéria orgânica do solo e dependem, principalmente, do ambiente e tipo de solo onde estão sendo realizadas. Dessa forma, é necessária a obtenção de informações consistentes em âmbito regional que possibilitem identificar os principais fatores limitantes para cada tipo de solo e ambiente a fim de que o uso dos dejetos como fonte de nutrientes possa ser realizado de modo a ser eficiente como fertilizante e sem provocar impactos ambientais indesejados.

## 5.5 Conclusões

A combinação de aplicações sucessivas de dejetos de suínos em ambientes onde foram realizados vários cultivos agrícolas proporcionou condições para o aumento nos estoques e na capacidade de retenção de C dos solos. Contudo, o fato dos maiores incrementos relativos de C terem ocorridos em frações mais funcionalizadas da matéria orgânica, como ácidos fúlvicos e húmicos, no Argissolo, e frações mais hidrofóbicas, como humina e associadas aos minerais, como na fração argila, no Latossolo, evidencia a importância de se considerar o tipo de solo, teor de argila, teor e composição química da MOS, na definição de doses de dejetos a serem aplicadas no solo.

## 5.6 Agradecimentos

À CAPES pela bolsa de doutorado e pelo Programa PDSE, que permitiu o estágio sanduiche na Università Degli Studi di Bari Aldo Moro, Itália. Ao CNPq e à FAPERGS, pela disponibilidade de recursos financeiros que possibilitaram a realização do experimento.

## 5.7 Referências

- Abipecs - Associação brasileira da indústria produtora e exportadora de carne suína. 2011. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acesso em 04 de agosto de 2012.
- Adeli, A., Bolster, C.H., Rowe, D.E.; McLaughlin, M.R., Brink, G.E. 2008. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. *Soil Sci.* 173, 223-235.
- Aita, C., Port, O., Giacomini, S.J. 2006. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 30, 901-910.
- Almeida, H.C., Dick, D.P., Bertotto, F.L., Chitarra, G.S. 2012. Distribution of chemical compartments of soil organic matter and C stocks of a Cambisol from south Brazil as affected by pinus afforestation. *Quim. Nova.* 35, 1329-1335.
- Biau, A., Santiveri, F., Mijangos, I., Lloveras, J. 2012. The impact of organic and mineral fertilizers on soil quality parameters and the productivity of irrigated maize crops in semiarid regions. *Eur. J. Soil Biol.* 53, 56-61.
- Bruun, T.B., Elberling, B., Christensen, B.T. 2010. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. *Soil Biol. Biochem.* 42, 888-895.
- Canellas, L.P., Baldotto, M.A., Busato, J.G., Marciano, C.R., Menezes, S.C., Silva, N.M., Rumjanek, V.M., Velloso, A.C.X., Simões, M.L., Martin-Neto, L. 2007. Estoque e qualidade da matéria orgânica de um solo cultivado com cana-de-açúcar por longo tempo. *R. Bras. Ci. Solo.* 31, 331-340.

- Canellas, L.P., Santos, G.A., Moraes, A.A., Rumjanek, V.M, Olivares, F.L. 2000 Avaliação de características de ácidos húmicos de resíduos de origem urbana: I. métodos espectroscópicos (UV-VIS, IV, RMN 13C-CP/MAS) e microscopia eletrônica de varredura. R. Bras. Ci. Solo, 24, 741-750.
- Carneiro, J.P., Coutinho, J., Trindade, H. 2012. Nitrate leaching from a maize x oats double-cropping forage system fertilized with organic residues under Mediterranean conditions. Agr. Ecosyst. Environ. 160, 29-39.
- Ceretta, C.A., Girotto, E., Lourenzi, C.R., Trentin, G., Vieira, R.C.B., Brunetto, G. 2010. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. Agr. Ecosyst. Environ. 139, 689-699.
- Ceretta, C.A., Basso, C.J., Pavinato, P.S., Trentin, E.E., Girotto, E., 2005. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suínos. Ci. Rural, 35, 1287-1295.
- Dias, B.O., Silva, C.A., Soares, E.M.B., Bettiol, W. 2007. Estoque de carbono e quantificação de substâncias húmicas em latossolo submetido a aplicação contínua de lodo de esgoto. R. Bras. Ci. Solo 31, 701-711.
- Dick, D.P., Silva, L.B., Inda Jr., A.V., Knicker, H. 2008. Estudo comparativo da matéria orgânica de diferentes classes de solos de altitude do Sul do Brasil por técnicas convencionais e espectroscópicas. R. Bras. Ci. Solo 32, 2289-2296.
- Dinel, H., Gregorich, E.G. 1995. Structural stability status as affected by long-term continuous maize and bluegrass sod treatments. Biol. Agric. Hortic. 12, 237-252.
- Dobbss, L.B., Rumjanek, V.M., Baldotto, M.A., Velloso, A.C.X., Canellas, L.P. 2009. Caracterização química e espectroscópica de ácidos húmicos e fúlvicos isolados da camada superficial de Latossolos Brasileiros. R. Bras. Ci. Solo 33, 51-63.
- Durigon, R., Ceretta, C.A., Basso, C.J., Barcellos, L.A.R., Pavinato, P.S. 2002. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. R. Bras. Ci. Solo 26, 983-992.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- Eusterhues, K., Rumpel, C., Kögel-Knabner, I. 2005. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation. Org. Geochem. 36, 1567-1575.
- Ferreira, D. F. 2008. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. Rev. Symposium, 6, 36-41.
- Freitas, P.L., Blancaneaux, P., Gavinelli, E., Larré-Larrouy, M.C., Feller, C. 2000. Nível e natureza do estoque orgânico de latossolos sob diferentes sistemas de uso e manejo. Pesq. Agropec. Bras. 35, 157-170.

- Giroto, E., Ceretta, C.A., Lourenzi, C.R., Lorensini, F., Tiecher, T.L., Vieira, R.C.B. Trentin, G., Basso, C.J., Miotto, A., Brunetto, G. 2013. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 95,115-131.
- Hernández, D., Plaza, C., Senesi, N., Polo, A. 2006. Detection of Copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy. *Environ. Pollut.* 143, 212-220.
- Hernández, D., Plaza, C., Senesi, N., Polo, A. 2007. Fluorescence analysis of copper(II) and zinc(II) binding behaviour of fulvic acids from pig slurry and amended soils. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 900-908.
- Hevia, G.G., Buschiazzo, D.E., Hepper, E.N., Urioste, A.M., Antón, E.L. 2003. Organic matter in size fractions of soils of the semiarid Argentina. Effects of climate, soil texture and management. *Geoderma* 116, 265-277.
- Hsu, J.H., Lo, S.L. 1999. Chemical and spectroscopic analysis of organic matter transformations during composting of pig manure. *Environ. Pollut.* 104, 189-196.
- Kaiser, K., Guggenberger, G. 2007. Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. *Eur. J. Soil Sci.* 58, 45-59.
- Kleber, M., Sollins, P., Sutton, R. 2007. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into zonal structures on mineral surfaces. *Biogeochemistry* 85, 9-24.
- Koga, N., Tsuji, H. 2009. Effects of reduced tillage, crop residue management and manure application practices on crop yields and soil carbon sequestration on an Andisol in northern Japan. *Soil Sci. Plant. Nutr.* 55, 546-557.
- Laganière, J., Angers, D.A., Paré, D. 2010. Carbon accumulation in agricultural soils after afforestation: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 16, 439-453.
- Lou, Y., Xu, M., Wang, W., Sun, X., Liang, C. 2011. Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse Vegetables. *Soil Use Manage.* 27,163-169.
- Lourenzi, C.R., Ceretta, C.A., Silva, L.S., Trentin, G., Giroto, E., Lorensini, F., Tiecher, T.L.; Brunetto, G. 2011. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. *R. Bras. Ci. Solo* 35, 1827-1836.
- Lützow, M.V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B., Flessa, H. 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. *Eur. J. Soil Sci.* 57, 426-445.
- Maillard, E., Angers, D.A. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a meta-analysis. *Glob. Change Biol.* 20, 666-679.

Mellek, J.E., Dieckow, J., Silva, V.L., Favaretto, N., Pauletti, V., Vezzani, F.M., Souza, J.L.M. 2010. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil Till. Res.* 110, 69-76.

Mujuru, L., Mureva, A., Velthorst, E.J., Hoosbeek, M.R. 2013. Land use and management effects on soilorganic matter fractions in Rhodic Ferralsols and Haplic Arenosols in Bindura and Shamva districts of Zimbabwe. *Geoderma* 209-210, 262-272.

Poeplau, C., Don, A. 2013. Sensitivity of soil organic carbon stocks and fractions to different land-use changes across Europe. *Geoderma* 192, 189-201.

Roscoe, P., Machado, P.L.O.M. Fracionamento físico do solo em estudos da matéria orgânica. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. 86p.

Santana, G.S., Dick, D.P., Jacques, A.V.A., Chitarra, G.S. 2011. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. *R. Bras. Ci. Solo* 35, 461-472.

Scherer, E.E., Nesi, C.N., Massotti, Z. 2010. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo* 34, 1375-1383.

Schöning, I., Knicker, H., Kögel-Knabner, I. 2005. Intimate association between O/N-alkyl carbon and iron oxides in clay fractions of forest soils. *Org. Geochem.* 36, 1378-1390.

Song, G., Hayes, M.H.B., Novotny, E.H., Simpson, A.J. 2011. Isolation and fractionation of soil humin using alkaline urea and dimethylsulphoxide plus sulphuric acid. *Naturwissenschaften* 98, 7-13.

Sorensen, P., Rubaek, G.H.R. 2012. Leaching of nitrate and phosphorus after autumn and spring application of separated solid animal manures to winter wheat. *Soil Use Manage.* 28, 1-11.

Sweeney, D.W., Pierzynski, G.M., Barnes, P.L. 2012. Nutrient losses in field-scale surface runoff from claypan soil receiving turkey litter and fertilizer. *Agric. Ecosyst. Environ.* 150, 19-26.

Tan, K.H. Infrared spectroscopy. In: TAN, H.K., ed. *Soil sampling, preparation and analysis*. New York, Marcel Dekker, 1996. p.278-298.

Wagai, R., Mayer, L.M. 2007. Sorptive stabilization of organic matter in soils by hydrous iron oxides. *Geochim. Cosmochim. Ac.* 71, 25-35.

Wang, W., Liang, T., Wang, L., Liu, Y., Wang, Y., Zhang, C. 2013. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. *Environ. Earth Sci.* 68, 1313-1319.



## **6 ESTUDO III – Forms of phosphorus transfer by runoff under no-tillage in a soil treated with successive pig slurry applications<sup>3</sup>**

### **6.1 Abstract**

Successive pig slurry (PS) applications may enhance the transfer of phosphorus (P) forms by runoff. The goal of this study was to evaluate the accumulation of P in the soil and the transfer of P forms through surface runoff for a soil under a no-tillage system subjected to successive PS applications. This research was carried out in the Federal University of Santa Maria, Brazil, from 2004 to 2007 in a Typic Hapludalf soil. Pig slurry rates of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> were broadcast over the soil surface before sowing each species in a cultivation sequence. Samples of water runoff from the soil surface were collected during the entire period and the available, soluble, particulate and total P were measured. Successive PS applications led to increases in P availability and its migration through the soil profile. Transfers of P forms were closely associated with runoff, which is directly related to rainfall volume. PS applications also reduced surface runoff. These results show that in areas where there are successive PS applications, it is necessary to use a crop rotation system that can provide good ground cover.

*Keywords:* phosphorus loss, pig slurry, environmental contamination

### **6.2 Introduction**

The use of pig slurry (PS) with significant amounts of phosphorus (P) as a nutrient source can be an alternative to minimize the use of processed phosphate fertilizers, as the natural reserves of P will decrease in the coming decades (Cordell et al., 2009). In addition, the use of pig slurry is a way to promote the cycling of P on the farm (Giroto et al., 2013). However, the areas of land suitable for receiving pig slurry applications are small, which encourages successive applications on the same area of land (Kang et al., 2011) and causes the accumulation of P in surface soil layers in no-till cropping systems (Adeli et al., 2003; Adeli et al., 2008; Payet et al., 2009; Ceretta et al., 2010a; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013).

In general, more than 60% of P found in manure is in an inorganic form (Cassol et al., 2001), which is also the form of P accumulation in soils with successive pig slurry applications (Chardon et al., 2007; Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010a; Guardini et al.,

---

<sup>3</sup> Artigo elaborado de acordo com as normas da revista *Agriculture, Ecosystems & Environment* (Anexo B).

2012; Lourenzi et al., 2013). Accumulation of P in the soil may saturate surface functional groups of reactive soil particles, increasing the concentration of the nutrient in the soil solution and also in the solution transferred to the surface (Ceretta et al., 2005a; Smith et al., 2007; Kleinman et al., 2009; Bertol et al., 2010; Ceretta et al., 2010b; McDowell et al., 2011; Hahn et al., 2012).

Transfer of P by runoff occurs in soluble and particulate forms. According to Haygarth and Sharpley (2000), soluble or dissolved P is obtained in a filtered solution at  $<0.45 \mu\text{m}$ , and particulate P is the difference between total P in the unfiltered sample and soluble P (filtered at  $<0.45 \mu\text{m}$ ). The transfer of P and sediment by surface runoff in cultivated soils are major sources of potential contamination of surface waters adjacent to croplands (Jiao et al., 2011; Hart and Cornish, 2012; Sweeney et al., 2012).

In soils with a history of pig slurry applications, the amount of P transferred by runoff is dependent on the rate and frequency of pig slurry applications, concentration of P in the soil, amount and frequency of rainfall, type of cropping system and other factors of lesser importance (Yu et al., 2006; Ceretta et al., 2010b; McDowell et al., 2011; Sweeney et al., 2012; Wang et al., 2013). In a study conducted in a region in Switzerland with intensive livestock production (cattle and pigs), Hahn et al. (2012) found that the largest transfer of P by runoff occurred in soils with a long history of pig slurry applications and high soil P levels. In a study in southern Brazil with 19 applications of 0, 20, 40 and  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of pig slurry, Ceretta et al. (2010b) observed that the transfer of available P by surface runoff was closely associated with the amounts of nutrients applied through the pig slurry. In the same region, Bertol et al. (2010), studying the application of manufactured fertilizers and pig slurry subjected to three rainfall intensities, found that approximately 80% of transfers of total P observed during the evaluation period occurred in the event with the greatest rainfall intensity. However, there are few studies on subtropical soils that have evaluated the transfer of P forms by surface runoff, such as soluble P, particulate P and total P, in soils with a history of pig slurry applications and under a no-tillage system.

This study aimed to evaluate the accumulation of P in the soil and transfer of P forms by surface runoff in a Hapludalf soil under a no-tillage system subjected to successive pig slurry applications.

## 6.3 Material and Methods

### 6.3.1 Site description, treatment and evaluations

The experiment was carried out in the experimental area of the Agricultural Engineering Department of the Federal University of Santa Maria (RS), Brazil (latitude S 29°43', longitude W 53°42'), in a Typic Hapludalf soil (Soil Survey Staff, 1999) with a sandy loam surface texture and a 4% slope. The area had been kept under a no-tillage system for eight years prior to the year 2000, when this experiment began. In March 2000, the area was sampled in the 0-10 cm layer of soil. The results of the analyses were clay 170 g kg<sup>-1</sup>, silt 300 g kg<sup>-1</sup>, sand 530 g kg<sup>-1</sup>, pH-H<sub>2</sub>O 4.7, soil organic matter 16 g dm<sup>-3</sup>, Al 0.8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (extracted by KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), Ca 2.7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (extracted by KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), Mg 1.1 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> (extracted by KCl 1 mol L<sup>-1</sup>), P 15.0 mg dm<sup>-3</sup> (extracted by Mehlich 1 - HCl 0.05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.0125 mol L<sup>-1</sup>) and K 96 mg dm<sup>-3</sup> (extracted by Mehlich 1). The evaluations included in this research were conducted from 2004 to 2007.

Since October 2004, the experimental field has been managed under the following crop sequence: maize (*Zea mays* L.) in 2004/2005, black oats (*Avena strigosa* Schreb.), black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and sunn hemp (*Crotalaria juncea* L.) in 2005/2006, black oats and maize in 2006/2007 and black oats in 2007. Maize and black beans are grown during the spring and summer as cash crops. The cover crops, black oats is grown during winter, while sunn hemp is grown during spring. All stubble produced was left on the soil surface. Evaluations of transfers of P by surface runoff were performed for the last six crops; the cultivation of maize in 2004/2005 was not considered.

Pig slurry rates of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> were applied on a total area of 12 m<sup>2</sup> (4 m × 3 m) in May 2000. The annual applications of PS and crop rotation are described in Ceretta et al. (2010b). After grain harvest in the summer crops or flowering in the winter crops, pig slurry was applied for the next crop on top of existing crop residues. The pig slurry was broadcast over the soil surface one day before the sowing of each species, without incorporating it into the soil. During the years of 2004 to 2007, seven applications of manure were conducted (Table 1). Adding these to the twelve applications prior to 2004 (since 2000), there were a total of nineteen pig slurry applications (Ceretta et al., 2010b).

The experiment was designed as a randomized block with three replications. In each plot, polyvinyl chloride (PVC) scaffolding was installed (0.75 m × 0.50 m). The PVC structure was inserted into the soil to a depth of 5 cm. The surface runoff evaluation was conducted with a hard-wired collecting gutter connected to a hose connected to a collection container (20 L), where the surface runoff was stored (Ceretta et al., 2005a). After each

rainfall event with sufficient runoff volume for analysis, the stored runoff volume was removed from the collectors, its volume measured and a sample ( $\pm 300$  mL) was taken to the laboratory for analysis.

Table 1. Characteristics of the pig slurry applied before the sowing of each crop of the sequence.

Crop/year	Pig slurry dry matter (%)	Pig slurry phosphorus (%) <sup>1</sup>	Phosphorus applied before each crop			
			0	20	40	80
			-----kg ha <sup>-1</sup> -----			
Maize/2004-2005	7.2	5.38	-	80.3	160.6	321.2
Black Oat/2005	6.8	2.95	-	40.1	80.2	160.4
Black Bean/2005-2006	8.9	4.43	-	60.2	120.5	241.0
Sunnhemp/2006	12.1	4.79	-	116.3	232.6	465.2
Black Oat/2006	9.9	5.37	-	106.7	213.5	427.0
Maize/2006-2007	1.9	5.18	-	19.8	39.6	79.2
Black Oat/2007	3.5	5.77	-	40.6	81.2	162.4
<b>Total</b>				<b>464.0</b>	<b>928.2</b>	<b>1856.4</b>

<sup>1)</sup> Analyses and calculations on a dry weight basis.

### 6.3.2 Phosphorus analysis

The concentrations of available and total P were determined using unfiltered samples of the surface runoff. For extraction of available P, fifty mg of the collected field samples from each experimental unit were used. These solutions, with material in suspension, were placed in 100-mL snap-cap bottles with 1 mL of HCl 0.11 mol L<sup>-1</sup> (PA) (extracting solution). The samples were agitated for 10 min intermittently and then allowed to rest for 16 h. After this period, 5 mL of the extract was removed and used to determine P content.

The total P of the runoff was determined by acid digestion (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) in the presence of saturated MgCl<sub>2</sub> according to the method of Brookes and Polwson (1982). An aliquot of 15 mL of water + sediment was placed in digestion tubes with 1 mL of saturated MgCl<sub>2</sub> and 3 mL of concentrated sulfuric acid (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) and heated at 110 °C for 1.5 hours. After heating, 1 mL of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) was added and the samples were held for 2 hours at 130 °C. Concentrations of soluble P in the runoff was determined after an aliquot of approximately 50 mL was filtered through a 0.45- $\mu$ m membrane. Particulate P was determined by finding the difference between the amounts of total P and soluble P. The amounts of P of all fractions (available P, soluble P and total P) was determined by colorimetry (Murphy and Riley, 1962).

For the determination of total P of the pig slurry, samples were placed in a laboratory drying oven with an air temperature of 65 °C until a constant mass was obtained. After drying, 0.2 g of dried pig slurry was weighed and put in a 50-mL distillation pipe with 2 mL of

concentrated sulfuric acid, 1 mL of 30% hydrogen peroxide and 0.7 g of a digestion mixture ( $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) (Tedesco et al., 1995). At the end of the digestion process, the P content was determined by the method of Murphy and Riley (1962). The dry matter content and the total amounts of P applied via the pig slurry are shown in Table 1.

During the study, two soil samplings were performed. The first was in October 2004, before planting the maize crop (after 12 applications of manure), in the following soil layers 0-2.5, 2.5-5, 5-10, 10-20, 20-40 and 40-60 cm. The second collection, in the same soil layers, was performed in January 2008 (after 19 applications of manure) coinciding with the last crop of black oat in the present study. Soil samples were extracted using Mehlich 1 (Tedesco et al., 1995) and the extracts were analyzed for available P. At the end of the extraction process, P content was determined by the method of Murphy and Riley (1962).

### 6.3.3 Statistical treatment of the data

Analysis of variance (ANOVA) was performed to determine the effects of forms of P and runoff on cultures. Statistical significance between treatments was determined using the Tukey-Kramer test. Treatment means were compared using the least square difference (LSD) test with a significance level of  $p < 0.05$ . Linear regression analysis was used to test the significance of time trends in forms of P and runoff at  $p < 0.05$ . Pearson statistical tests were performed to test correlations between different runoffs and forms of P. All statistical analyses were performed using the software SISVAR version 5.3 (Ferreira, 2008).

## 6.4 Results

### 6.4.1 Soil available phosphorus

The highest levels of available P in all soil layers were observed with the  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  application of pig slurry, which demonstrates the migration of P into the soil profile (Table 2). The most significant increases were observed in the 0-2.5 cm layer; after the first 12 applications of manure, the increases in the 0-2.5 cm layer were 651.5, 1372.4 and 2827.0% with the addition of 160.7, 321.4 and  $642.8 \text{ kg ha}^{-1}$  P at the rates of 20, 40 and  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of pig slurry, respectively. In contrast, in the last seven applications of manure, 467.0, 934.2 and  $1868.4 \text{ kg ha}^{-1}$  P were added and the increases were 34.6, 24.8 and 59.7% with the application of 20, 40 and  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of pig slurry, respectively.

The 0-10 cm layer is used for the diagnosis of soil fertility under a no-tillage system in southern Brazil (CQFS-RS/SC, 2004). In this layer, the increases in the levels of available P

in the last seven applications of manure were 54.3, 65.8 and 122.8% at doses of 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry, respectively. In this same layer, considering the P content at the beginning of the experiment, the increases in P were 482, 1066 and 2237% after twelve applications of PS and 798, 1834 and 5106% after nineteen applications of PS, at doses of 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectively. In addition, in the soil sampling performed after nineteen applications of PS there was an increase in levels of available P down to the 40-60 cm layer in the treatments with the application of 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS (Table 2).

Table 2. Levels of available P extracted by Mehlich 1, in layers of soil under successive pig slurry applications.

Layer cm	Rate of pig slurry, m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>				CV, %
	0	20	40	80	
	Available phosphorus after 12 PS applications (mg dm <sup>-3</sup> )				
0-2.5	19.6 a <sup>(1)</sup> D <sup>(2)</sup>	147.3 aC	288.6 aB	573.7 aA	21.0
2.5-5	11.4 bC	72.4 bC	171.8 bB	329.9 bA	31.9
5-10	11.4 bD	42.2 cC	64.4 cB	148.0 cA	21.3
10-20	9.5 bD	20.7 dC	28.2 dB	53.1 dA	13.3
20-40	4.0 cC	5.0 dC	9.8 dB	20.4 dA	17.5
40-60	2.8 cC	3.6 dC	9.0 dB	14.2 dA	18.8
CV, %	22.7	26.6	14.4	29.8	
	Available phosphorus after 19 PS applications (mg dm <sup>-3</sup> )				
0-2.5	23.0 aD	198.2 aC	360.3 aB	916.0 aA	12.3
2.5-5	10.0 bD	146.1 bC	315.4 bB	815.1 bA	8.0
5-10	10.3 bC	59.8 cC	194.4 cB	611.8 cA	12.3
10-20	7.5 bC	19.9 dC	82.7 dB	300.1 dA	15.8
20-40	3.1 cB	5.9 eB	10.2 eB	57.8 eA	32.3
40-60	1.7 cB	2.0 eB	6.1 eA	8.6 eA	38.3
CV, %	38.8	10.6	11.8	10.2	

<sup>(1)</sup> Means followed by the same lowercase letter in the column do not differ by the Scott-Knott test ( $\alpha=0,05$ ). <sup>(2)</sup> Means followed by the same capital letter in the row do not differ by the Scott-Knott test ( $\alpha=0,05$ ).

#### 6.4.2 Solution transfer by surface runoff

Solution transfers by surface runoff showed a high correlation with rainfall volumes (Fig. 1). However, this was variable and depended on precipitation intensity, the time elapsed since the last occurrence of rainfall, and the soil moisture at the time of rainfall. The surface runoff of the solution, in general, tended to decrease with increasing rates of the PS applied (Table 3). However, this correlation was significant only for the black oat crop in 2007 (Table 4).

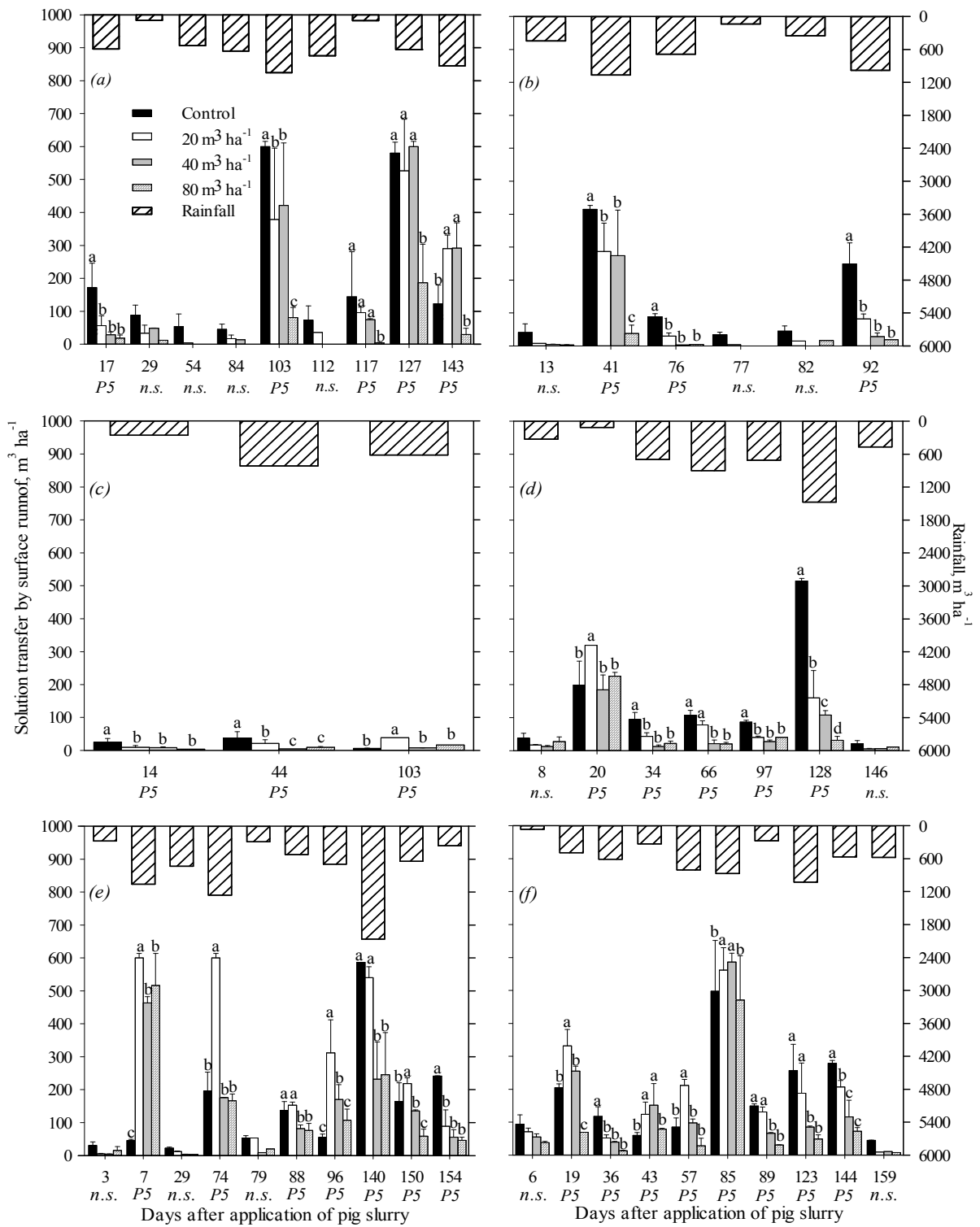


Fig. 1. Volume of rainfall and surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. P5= the means differ by the Scott-Knott test ( $\alpha = 0,05$ ); n.s.= not significant.

Table 3. Amount of P added to the soil through pig slurry, volume of rainfall, volume of surface runoff and losses of available P, soluble P, particulate P and total P in the surface runoff volume for crops of black oat-2005 (a) black beans-2005/2006 (b) sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d) maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application.

PS Rate m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Applied amount of Phosphorus kg ha <sup>-1</sup>	Rainfall m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Runnof year <sup>-1</sup>	Phosphorus losses			
				Available <sup>2</sup>	Soluble <sup>3</sup>	Particulate <sup>4</sup>	Total <sup>5</sup>
Black Oat-2005							
00	-	5332	1984 (37.21) a <sup>1</sup>	0.94 c	0.79 c	0.89 c	1.68 c
20	40.1	5332	1314 (24.64) <sup>6</sup> b	6.34 (13.47) <sup>7</sup> b	4.31 (8.78) b	3.55 (6.63) b	7.86 (15.41) b
40	80.2	5332	1388 (26.03) b	8.78 (9.78) a	6.55 (7.18) a	8.54 (9.54) a	15.09 (16.73) a
80	160.4	5332	368 (6.90) c	5.47 (2.82) b	3.51 (1.70) bb	5.02 (2.57) b	8.54 (4.28) b
Black Bean-2005/2006							
00	-	3669	811 (22.10) a	0.27 n.s.	0.25 n.s.	0.31 n.s.	0.56 n.s.
20	60.2	3669	320 (8.72) b	0.76 (0.81)	1.54 (2.14)	0.53 (0.36)	2.07 (2.51)
40	120.5	3669	310 (8.45) b	2.47 (1.83)	2.07 (1.51)	0.58 (0.22)	2.66 (1.74)
80	241.0	3669	101 (2.75) b	1.22 (0.39)	1.21 (0.40)	0.47 (0.07)	1.69 (0.47)
Sunn hemp-2006							
00	-	2426	52 (2.14) n.s.	0.09 n.s.	0.07 n.s.	0.13 n.s.	0.20 n.s.
20	116.3	2426	49 (2.02)	0.23 (0.12)	0.24 (0.15)	0.09 (0.00)	0.33 (0.11)
40	232.6	2426	7 (0.29)	0.29 (0.09)	0.15 (0.03)	0.06 (0.00)	0.21 (0.004)
80	465.2	2426	19 (0.78)	0.59 (0.11)	0.50 (0.09)	0.14 (0.002)	0.64 (0.09)
Agricultural year-2005/2006							
00	-	11427	2847 (24.91) a	1.30 c	1.10 c	1.33 c	2.43 c
20	216.6	11427	1684 (14.74) b	7.34 (2.79) b	6.09 (2.30) b	4.17 (1.31) b	10.26 (3.63) b
40	433.3	11427	1705 (14.92) b	11.53 (2.36) a	8.78 (1.77) a	9.19 (1.81) a	17.96 (3.57) a
80	866.6	11427	489 (4.28) c	7.27 (0.69) b	5.22 (0.47) b	5.64 (0.50) b	10.86 (0.98) b
Black Oat-2006							
00	-	4816	1093 (22.70) a	0.31 b	0.29 b	0.53 b	0.83 b
20	106.7	4816	704 (14.62) a	4.34 (3.78) b	3.84 (3.33) b	1.52 (0.93) b	5.36 (4.25) b
40	213.5	4816	202 (4.19) b	2.83 (1.18) b	3.68 (1.59) b	1.71 (0.55) b	5.39 (2.14) b
80	427.0	4816	438 (9.09) b	12.90 (2.95) a	11.98 (2.74) a	5.17 (1.09) a	17.15 (3.81) a
Maize-2006/2007							
00	-	8283	2304 (27.82) a	1.30 c	0.48 c	2.71 b	3.19 c
20	19.8	8283	2726 (32.91) a	9.10 (39.39) b	6.44 (30.10) b	5.59 (14.54) b	12.03 (44.49) b
40	39.6	8283	1374 (16.59) b	9.11 (19.72) b	5.89 (13.66) b	5.52 (7.10) b	11.41 (20.73) b
80	79.2	8283	1085 (13.10) b	13.48 (15.40) a	10.67 (12.90) a	9.21 (8.21) a	19.88 (21.10) a
Black Oat-2007							
00	-	5645	2137 (37.86) a	0.93 b	0.40 b	2.38 c	2.78 b
20	40.6	5645	1946 (34.47) a	7.32 (15.74) a	6.32 (14.58) a	7.03 (11.45) b	13.35 (26.16) a
40	81.2	5645	1458 (25.83) b	9.72 (10.82) a	8.00 (9.36) a	11.15 (10.74) a	19.14 (20.10) a
80	162.4	5645	752 (13.32) c	6.25 (3.28) a	5.12 (2.91) a	8.20 (3.58) b	13.33 (6.48) a
Agricultural year-2006/2007							
00	-	18744	5533 (29.52) a	2.54 c	1.18 c	5.62 d	6.80 c
20	167.1	18744	5375 (28.68) a	20.76 (10.90) b	16.60 (9.23) b	14.15 (5.10) c	30.75 (14.33) b
40	334.3	18744	3033 (16.18) b	21.66 (5.72) b	17.56 (4.90) b	18.38 (4.79) b	35.94 (8.72) b
80	668.6	18744	2276 (12.14) c	32.64 (4.50) a	27.78 (3.98) a	22.58 (2.54) a	50.35 (6.51) a

<sup>(1)</sup> Significance levels are from ANOVA testing for differences between treatment means. Letters designate differences between treatment means identified by Scott Knott multiple comparison tests in a column. While n.s. denotes statistical similarity amongst means. <sup>(2)</sup> Available phosphorus extracted by HCl 0.11 mol L<sup>-1</sup>. <sup>(3)</sup> Soluble phosphorus in filtered sample at 0.45 µm; <sup>(4)</sup> Particulate phosphorus; <sup>(5)</sup> Total phosphorus obtained by acid digestion; <sup>(6)</sup> Numbers in parentheses represent the percentage of water losses by runnof in relation to rainfall in the period; <sup>(7)</sup> The numbers in parentheses represent the percentages of phosphorus losses relatively to the total applied deducted of the amount of losses where manure was not applied.

The largest solution transfers were observed in the maize crop of 2006/2007 (Table 3), with transfers of 27.8, 32.9, 16.6 and 13.1% out of a total of 8283 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> rainfall at the rates of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS, respectively. In contrast, the smallest transfers occurred in the sunn hemp crop (2006) (Table 3), with transfers of 2.1, 2.0, 0.3 and 0.8% out of a total of



2426 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> rainfall at the rates of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry, respectively. In both cases, rainfall volume was the determinant for runoff volume, as the largest amounts of rainfall were observed for the maize crop (2006/2007) and the smallest amounts of rainfall were observed for sunn hemp (2006) during the study period (Table 3). On average, during the two-year evaluation period, solution transfers by surface runoff were 27.2, 21.7, 15.6 and 8.2% out of the total rainfall for the rates of 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of pig slurry, respectively.

#### 6.4.3 Forms of P transfer by runoff

The highest concentrations of forms of P (available P - Fig. 2, soluble P - Fig. 3, particulate P - Fig. 4 and total P - Fig. 5) were observed in the early rainfall events after applying the PS and were inversely proportional to surface runoff volume, such as in the events after 29 and 34 days in the black oat crops of 2005 and 2006, respectively. In contrast, when rainfall levels were high and when a large runoff volume was produced (Fig. 1), the concentrations of P in all forms (Fig. 2, 3, 4 and 5) were relatively low. This occurred in the crops of maize (2006/2007) and black oat (2007), where there were the largest number of events with high rainfall and large runoff volumes (Fig. 1e and 1f), with low concentrations of P (not exceeding 30 mg L<sup>-1</sup> of total P in all events evaluated) (Fig. 2e, 2f, 3e, 3f, 4e, 4f, 5e and 5f).

The lowest concentrations of P were found in the solutions where PS was not applied, and values did not exceed 5 mg L<sup>-1</sup> for all forms of P. The levels of P observed in the surface runoff with the application of 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS was also low; only in the events that occurred at 8 and 34 days for the black oat crop (2006) did the values exceed 20 mg L<sup>-1</sup> in total and available fractions (Fig. 2d and 5d). In contrast, P levels observed in the surface runoff with the application of 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS were high, exceeding, in many events, the concentration of 30 mg L<sup>-1</sup> P. The highest concentration of P in the runoff was observed in an event 34 days after the cultivation of black oat (2006) in soil that received 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS; levels were 88.3, 81.2, 21.9 and 103.1 mg L<sup>-1</sup> P for available, soluble, particulate and total fractions, respectively.

The largest transfers of total P were observed in the agricultural year 2006/2007 (Table 3). In the crops of maize (2006/2007) and black oat (2007), rainfall was high (Table 3), which led to transfers of total P by surface runoff to be 2.8, 3.0, 2.0 and 4.6 times higher in the agricultural year 2006/2007 than in the agricultural year 2005/2006 for the treatments 0, 20, 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS, respectively.

Table 4. Correlation equations relations runoff (Runoff), cummulative runoff (Runoff<sub>cum</sub>), loss of available phosphorus (P<sub>av</sub>), loss of soluble phosphorus (P<sub>sol</sub>), loss of particulate phosphorus (P<sub>part</sub>), loss of total phosphorus (P<sub>total</sub>), applied amount of phosphorus (P<sub>add</sub>), (r<sup>2</sup>: coefficient of determination; p: p value)

Runoff, and loss of P vs PS rate				Year nutrient loss vs year runoff			
Crop	Equation	r <sup>2</sup>	p	PS m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Equation	r <sup>2</sup>	p
Black oat-2005	Runoff		Ns	0	P <sub>av</sub>		Ns
Black bean-2005/2006	Runoff		Ns	20	P <sub>av</sub>		Ns
Sunn hemp-2006	Runoff		Ns	40	P <sub>av</sub>		Ns
Black oat-2006	Runoff		Ns	80	P <sub>av</sub>		Ns
Maize-2006/2007	Runoff		Ns	0	P <sub>sol</sub>		Ns
Black oat-2007	Runoff = 1,839.7 – 12.798*SR	0.96	0.021**	20	P <sub>sol</sub>		Ns
Black oat-2005	P <sub>av</sub>		Ns	40	P <sub>sol</sub>		Ns
Black bean-2005/2006	P <sub>av</sub>		Ns	80	P <sub>sol</sub>		Ns
Sunn hemp-2006	P <sub>av</sub>		Ns	0	P <sub>part</sub>		Ns
Black oat-2006	P <sub>av</sub> = 0.664 + 0.102*SR	0.96	0.019**	20	P <sub>part</sub> = 1.79+0.0034* Runoff <sub>cum</sub>	0.66	0.048**
Maize-2006/2007	P <sub>av</sub>		Ns	40	P <sub>part</sub> = 1.91+0.0071* Runoff <sub>cum</sub>	0.73	0.030**
Black oat-2007	P <sub>av</sub>		Ns	80	P <sub>part</sub>		Ns
Black oat-2005	P <sub>sol</sub>		Ns	0	P <sub>total</sub>		Ns
Black bean-2005/2006	P <sub>sol</sub>		Ns	20	P <sub>total</sub>		Ns
Sunn hemp-2006	P <sub>sol</sub>		Ns	40	P <sub>total</sub> = 4.62+0.011* Runoff <sub>cum</sub>	0.70	0.037**
Black oat-2006	P <sub>sol</sub>		Ns	80	P <sub>total</sub>		Ns
Maize-2006/2007	P <sub>sol</sub>		Ns				
Black oat-2007	P <sub>sol</sub>		Ns				
Black oat-2005	P <sub>part</sub>		Ns				
Black bean-2005/2006	P <sub>part</sub>		Ns				
Sunn hemp-2006	P <sub>part</sub>		Ns				
Black oat-2006	P <sub>part</sub>		Ns				
Maize-2006/2007	P <sub>part</sub> = 2.758 + 0.060 * SR	0.90	0.049				
Black oat-2007	P <sub>part</sub>		Ns				
Black oat-2005	P <sub>total</sub>		Ns				
Black bean-2005/2006	P <sub>total</sub>		Ns				
Sunn hemp-2006	P <sub>total</sub>		Ns				
Black oat-2006	P <sub>total</sub>		Ns				
Maize-2006/2007	P <sub>total</sub>		Ns				
Black oat-2007	P <sub>total</sub>		Ns				
Cumulative nutrient loss vs cumulative runoff (multiple year)				Year nutrient loss vs cumulative nutrient added (multi-year)			
PS m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Equation	r <sup>2</sup>	p	PS m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	Equation	r <sup>2</sup>	p
0	P <sub>av</sub> = 1.22+0.0009* Runoff <sub>cum</sub>	0.81	0.036**	0	Not conditions for statistics		
20	P <sub>av</sub> = 6.35+0.0092* Runoff <sub>cum</sub>	0.79	0.018**	20	P <sub>av</sub>		Ns
40	P <sub>av</sub> = 8.09+0.0113* Runoff <sub>cum</sub>	0.89	0.004*	40	P <sub>av</sub>		Ns
80	P <sub>av</sub> = 3.73+0.0243* Runoff <sub>cum</sub>	0.69	0.038**	80	P <sub>av</sub>		Ns
0	P <sub>sol</sub>		Ns	0	Not conditions for statistics		
20	P <sub>sol</sub> = 5.79+0.0084* Runoff <sub>cum</sub>	0.75	0.026**	20	P <sub>sol</sub>		Ns
40	P <sub>sol</sub> = 6.48+0.0090* Runoff <sub>cum</sub>	0.89	0.005*	40	P <sub>sol</sub>		Ns
80	P <sub>sol</sub> = 3.82+0.0212* Runoff <sub>cum</sub>	0.67	0.045**	80	P <sub>sol</sub>		Ns
0	P <sub>part</sub> = 1.08+0.0022* Runoff <sub>cum</sub>	0.85	0.026**	0	Not conditions for statistics		
20	P <sub>part</sub> = 3.41+0.0073* Runoff <sub>cum</sub>	0.87	0.007*	20	P <sub>part</sub>		Ns
40	P <sub>part</sub> = 6.29+0.0097* Runoff <sub>cum</sub>	0.98	0.001*	40	P <sub>part</sub>		Ns
80	P <sub>part</sub> = 3.33+0.0187* Runoff <sub>cum</sub>	0.84	0.009*	80	P <sub>part</sub>		Ns
0	P <sub>total</sub> = 2.19+0.003* Runoff <sub>cum</sub>	0.84	0.029**	0	Not conditions for statistics		

20	$P_{\text{total}} = 9.20 + 0.016 * \text{Runoff}_{\text{cum}}$	0.81	0.015**	20	$P_{\text{total}}$	Ns
40	$P_{\text{total}} = 12.78 + 0.019 * \text{Runoff}_{\text{cum}}$	0.94	0.001*	40	$P_{\text{total}}$	Ns
80	$P_{\text{total}} = 7.16 + 0.040 * \text{Runoff}_{\text{cum}}$	0.76	0.024**	80	$P_{\text{total}}$	Ns

Ns, not significant; Runoff ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{year}$ ); \* Statistically significant at 99% confidence level; \*\* Statistically significant at 95% confidence level; Runoff<sub>cum</sub> ( $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ , cumulative);  $P_{\text{av}}$ ,  $P_{\text{sol}}$ ,  $P_{\text{part}}$ ,  $P_{\text{total}}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ); PS (Pig Slurry,  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ ).

On average, during the two-year evaluation, transfers of total P by surface runoff were 9.0, 6.1 and 3.7% out of the total applied with the rates of 20, 40 and 80  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  of PS, respectively. Out of the total transfers, 45.4, 69.5, 62.2 and 65.9% occurred in the available form (extracted with HCl 0.1 mol  $\text{L}^{-1}$ ); 31.3, 56.7, 48.9 and 51.6% in the soluble form; and 68.7, 43.3, 51.2 and 48.4% in the particulate form at the rates of 0, 20, 40 and 80  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  of PS, respectively.

Transfers of forms of P by surface runoff were not correlated with the rates of pig slurry applied, except for available P in the black oat crop (2006) and particulate P in the maize crop (2006/2007) (Table 4). However, cumulative transfers of P forms were correlated with cumulative transfers of runoff (Table 4). For example, in the soil treated with 20  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  of PS, there was a transfer by runoff of 2426  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  observed in the sunn hemp crop (2006) providing a 26.2  $\text{kg ha}^{-1}$  transfer of available P, while a transfer of 8283  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  observed in the maize crop (2006/2007) provided a transfer of 75.4  $\text{kg ha}^{-1}$  available P.

## 6.5. Discussion

### 6.5.1 Effect of pig slurry application on the available phosphorus in soil

Increases in the levels of available P, especially in the soil surface layers (Table 2), occurred due to the high amount of P added to the soil, the form of P found in the PS and the soil management system employed. The PS has high concentrations of nutrients, including P (Ceretta et al., 2010a; Lourenzi et al., 2013), which is found in manures in an inorganic form (Cassol et al., 2001). This form is promptly available to plants and this is the predominant form of P accumulation in soils under PS applications (Chardon et al., 2007; Gatiboni et al., 2008; Ceretta et al., 2010a; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013).

Moreover, because there is no soil tillage in crops under a no-tillage system, there is an accumulation of P in the surface soil layers (Adeli et al., 2008; Scherer et al., 2010; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013). In the soil, P can be adsorbed on the surface functional groups of reactive particles, typically forming inner sphere complexes (specific adsorption) (Barrow, 1999). Because the adsorption sites of reactive soil particles are finite and have varying degrees of affinity for the phosphate ion (Rheinheimer et al., 2000), P is more quickly adsorbed on those sites (Barrow et al., 1998).

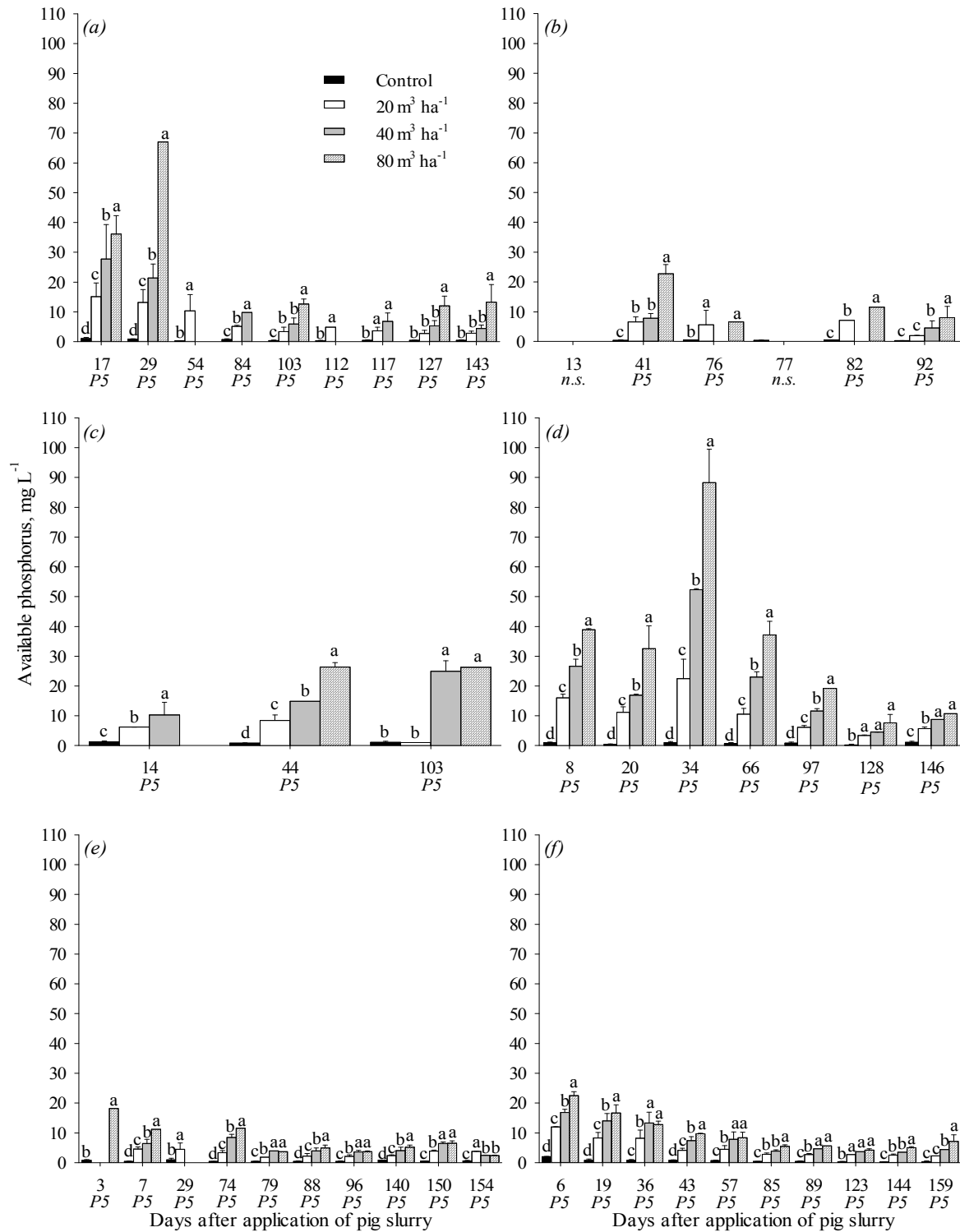


Fig. 2. Concentration of available P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. P5= the means differ by the Scott-Knott test ( $\alpha = 0,05$ ); n.s.= not significant.

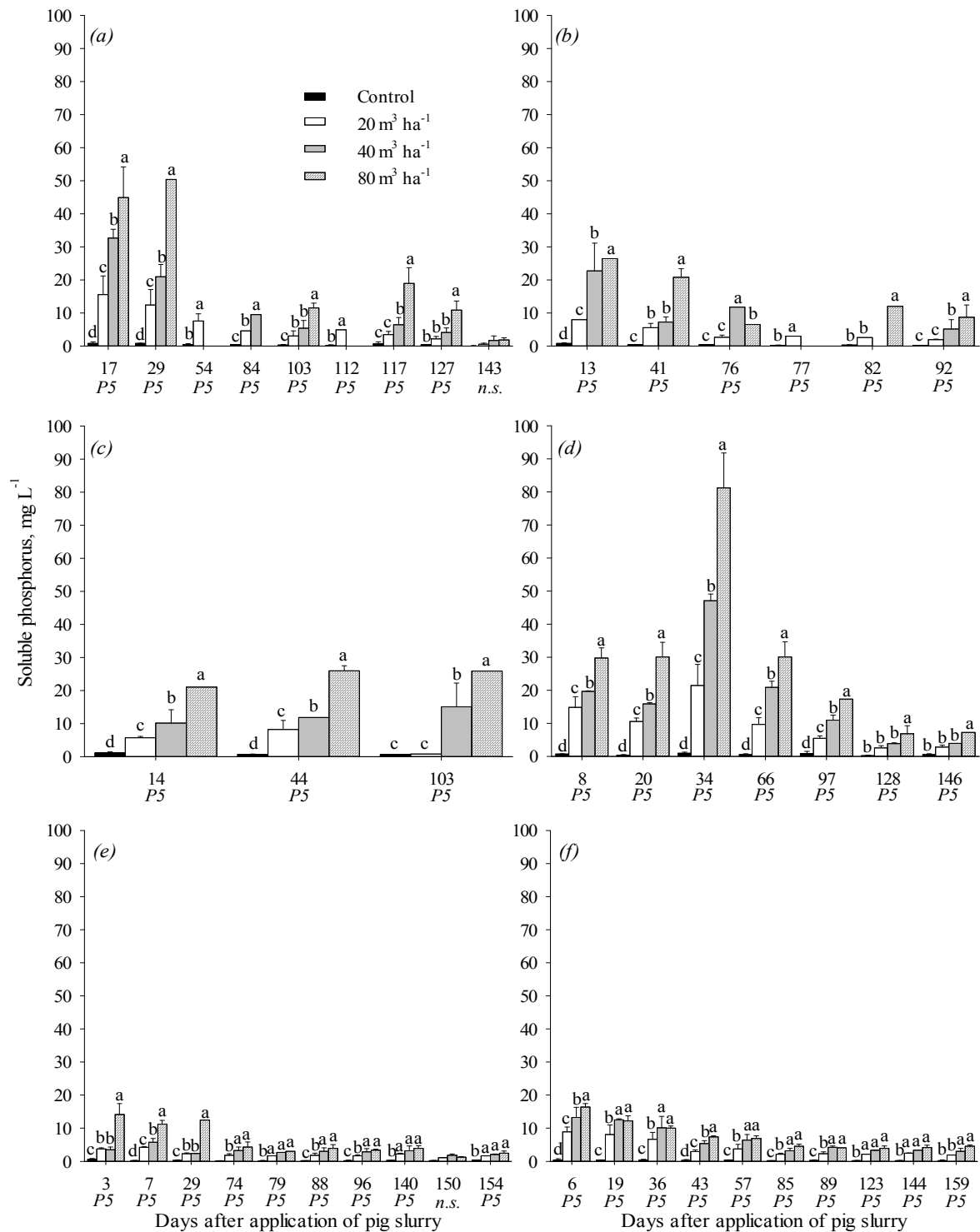


Fig. 3. Concentration of soluble P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. P5= the means differ by the Scott-Knott test ( $\alpha = 0,05$ ); n.s.= not significant.

However, the addition of large amounts of P to the soil decreases the binding energy between the phosphate ion and the reactive soil particles (Barrow et al., 1998) and this allows P to remain soluble or retained with less binding energy, thus making it more readily accessible (Parfitt, 1989). This relates to our result that the available P in the soil increased down to the 40-60 cm layer after nineteen applications of 40 and 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS (Table 2).

At the end of this study, nineteen 19 applications of PS had been made and in the 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> rate, 2511.2 kg ha<sup>-1</sup> P was applied (Lourenzi et al., 2013). This resulted in an available P content in the 0-10 cm soil layer of 753.9 mg dm<sup>-3</sup>. This level is 62 times higher than the one observed in the same soil layer where PS was not applied and it was much higher than the level considered too high (> 42 mg of available P kg<sup>-1</sup> in soil with ≤ 20% clay) by the Committee on Chemistry and Soil Fertility of the states of Rio Grande do Sul and Santa Catarina, in southern Brazil (CQFS-RS/SC, 2004). These results show that successive applications of PS promoted excessive P availability in the soil (at levels above those needed for normal plant growth) and that P can be transported by runoff, which enhances the risk of eutrophication of surface waters adjacent to cultivated areas (Smith et al., 2001; Daverede et al., 2004; Ceretta et al., 2010b; Hahn et al., 2012).

#### 6.5.2 Effect of pig slurry applications in solution transfer by surface runoff

The smaller transfers of surface runoff with increasing rates of PS can be explained by the high nutrient input at higher application rates. This increases nutrient levels in the soil (Adeli et al., 2008, Scherer et al., 2010; Lourenzi et al., 2013) and provides the capacity for greater dry matter production by crops (Ceretta et al., 2005b). Furthermore, as the cultivation system was no-till, part of the dry matter of the crops remained on the soil surface, dissipating the kinetic energy of rain drops and reducing solution transfer on the soil surface. As a consequence, water infiltration in the soil profile under a no-till cultivation system is favorable (Ceretta et al., 2005a; Krutz et al., 2009).

Solution transfer by surface runoff is directly associated with rainfall volume (Ceretta et al., 2010b). However, even in treatments of 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> of PS with a high rainfall volume, the solution transfer was small (Fig. 1) and the rate was justified by higher dry matter production of the crops (Andraski et al., 2003; Ceretta et al., 2005b). Furthermore, the use of crop rotation also has significant effects on reducing surface runoff. Jiao et al. (2011) found increases in water infiltration into the soil and up to a 58% reduction in runoff volume in a study evaluating different crop rotations.

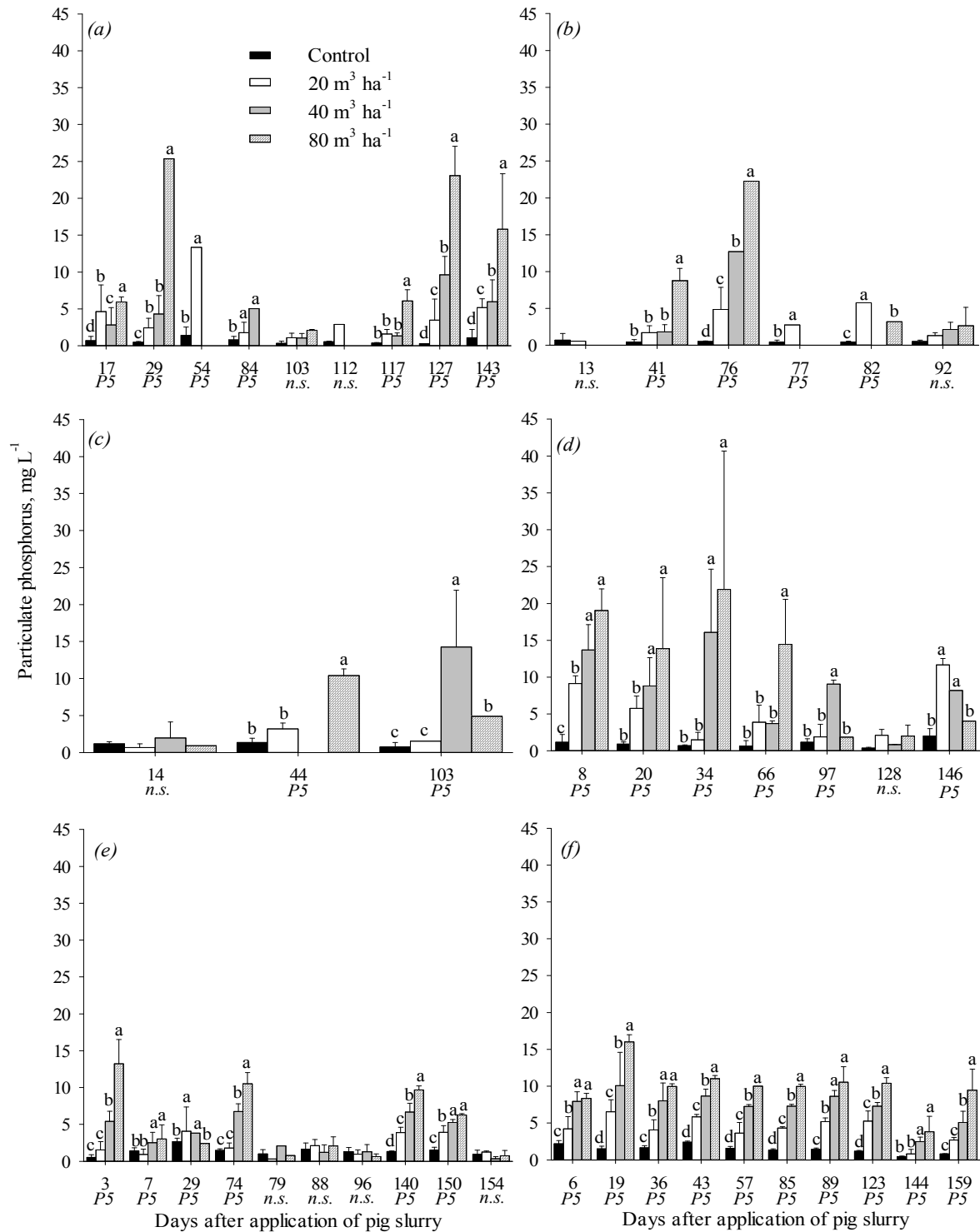


Fig. 4. Concentration of particulate P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. P5= the means differ by the Scott-Knott test ( $\alpha=0,05$ ); n.s.= not significant.

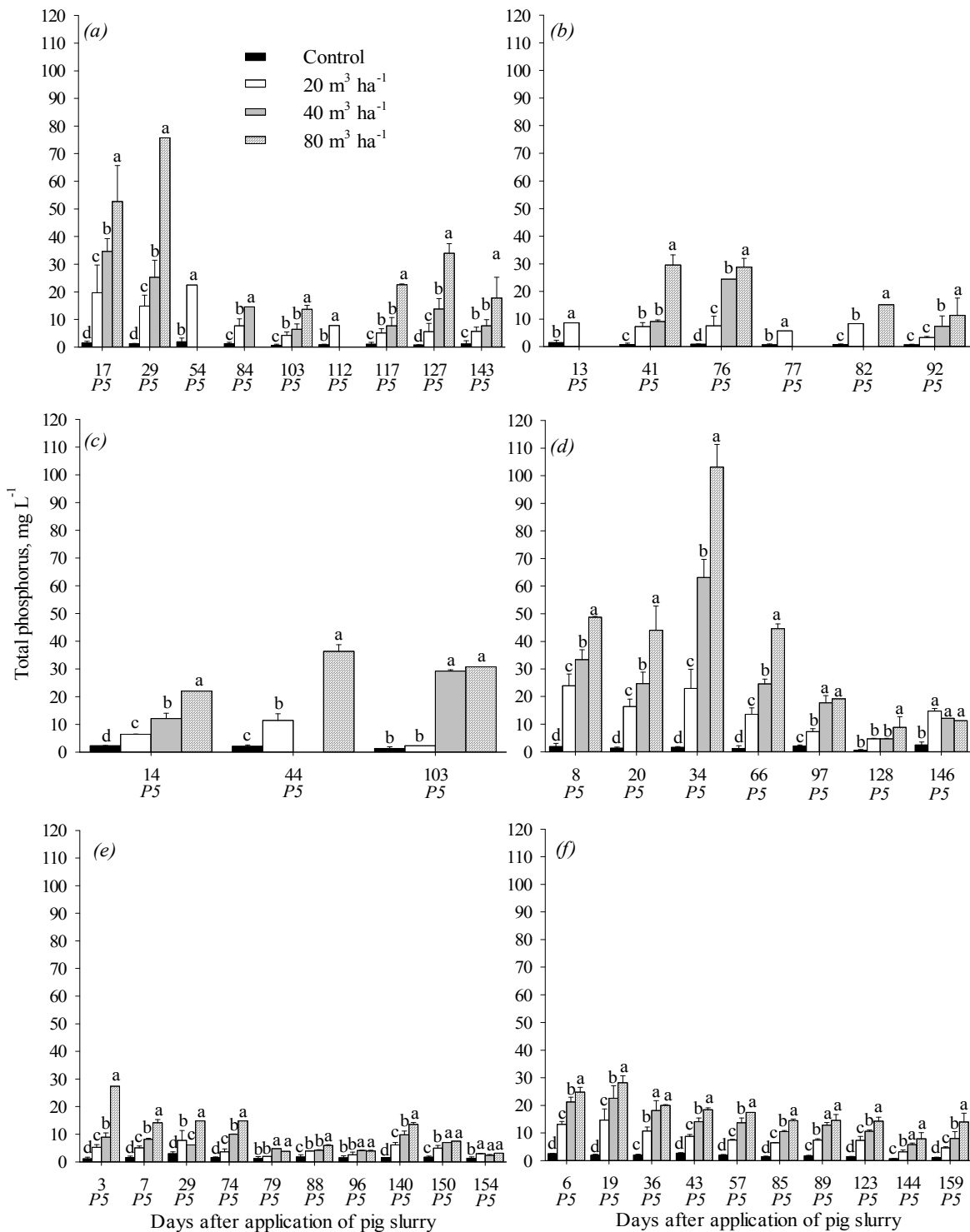


Fig. 5. Concentration of total P in the surface runoff solution for black oat-2005 (a), black beans-2005/2006 (b), sunn hemp-2006 (c), black oat-2006 (d), maize-2006/2007 (e) and black oat-2007 (f) in a soil under pig slurry application. P5= the means differ by the Scott-Knott test ( $\alpha = 0,05$ ); n.s.= not significant.



Another factor that interacts with solution transfer by surface runoff is soil moisture (Vadas et al., 2011), which may fluctuate according to the distribution of rainfall throughout crop cycles. In years with higher rainfall, as in the crops of maize (2006/2007) and black oat (2007), the soil remains moist with much of its porosity occupied by water, hindering water infiltration and favoring surface runoff. High soil moisture may result in an increased runoff volume for each event (Jiao et al., 2011) as well as an increase in the number of runoff events (Udawatta et al., 2006).

### 6.5.3 Effect of pig slurry applications in forms of P transfer by runoff

The highest concentrations of P forms in the runoff were observed in the early rainfall events after PS applications. This is because most of the P present in PS is in an inorganic form (Cassol et al., 2001). Moreover, organic P present in PS is rapidly mineralized after soil application (Gatiboni et al., 2008). Thus, the levels of available P in the soil rapidly increase (Adeli et al., 2008; Ceretta et al., 2010a; Guardini et al., 2012; Lourenzi et al., 2013). The rapid increase in available P decreases the binding energy between phosphate ions and the functional groups of reactive soil particles (Barrow et al., 1998), allowing the increase in P in the soil solution and, therefore, in the surface runoff immediately after PS application (Allen and Mallarino, 2008; Kleinman et al., 2009; Ceretta et al., 2010b; Hahn et al., 2012). Furthermore, the presence of organic acids in manure can saturate the adsorption sites of surface functional groups, increasing the availability of soil P (Andrade et al., 2003).

The highest concentrations of soluble P in the early rainfall events after PS application may also be due to the reaction of P with soil particles or the formation of co-precipitates with metals, such as Cu, which would decrease P concentrations in the solutions of subsequent events. Furthermore, soil surface sealing, occurring with the addition of large amounts of pig slurry, may favor higher concentrations of phosphorus in the runoff, especially in early rainfall events after the PS application, as noted by Bundy et al. (2001) and Allen and Mallarino (2008). Another important factor for P concentration in the solution is the volume of rainfall occurring with each event, because there is a direct relationship between rainfall volume and runoff volume (Ceretta et al., 2010b).

Concentrations of available P in the surface runoff, in most events, exceeded the maximum permissible concentration for drinking water (higher than  $0.15 \text{ mg L}^{-1}$ ) and was Class 3 (Class 3 is water that can be used for human consumption after proper treatment) (CONAMA, 2005). Available P values were as high as  $88.3 \text{ mg L}^{-1}$  with the application rate of  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of PS (Fig. 2). These results show the high pollution potential of slurry

applications on the environment, especially in the early rainfall events after application of the pig slurry when the concentrations of P in the solution can reach extremely high values. This situation increases eutrophication of waters, as reported by Smith et al. (2007), Allen and Mallarino (2008), Ceretta et al. (2010b), Hahn et al. (2012) and Wang et al. (2013). The concentrations of particulate P were higher in the runoff with high rates of PS application (Fig. 4) and this may be due to the transport of P-enriched organic particles in the runoff (Bertol et al., 2010). Sediment enrichment, as a result of adsorption of soluble P during the runoff process, can also contribute to the increased concentrations in particulate P in the runoff (Sharpley et al., 1994).

The amounts of forms of P transferred by surface runoff were correlated with rainfall occurring during the period of evaluation, but they were not correlated with the PS rates (Table 4). This is because in the agricultural year 2005/2006 rainfall volume was  $7317 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  lower than that of the agricultural year 2006/2007 (Table 3). This resulted in smaller amounts of forms of P transferred by surface runoff, especially at the rate of  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of PS, which showed similar transfers of forms of P as the rate of  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Table 3). However, in the agricultural year 2006/2007, when larger rainfall volumes were observed, the amounts of forms of P transferred by surface runoff were higher with the largest transfers being observed with the highest rate of PS (Table 3).

Transfers of total P by surface runoff were small, averaging 9.0, 6.1 and 3.7% of the total applied for the rates of 20, 40 and  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  of PS, respectively. These results are similar to those obtained by Bertol et al. (2010); the transfers of P by runoff was less than 15% of total P applied when using PS and mineral fertilizer. Sharpley et al. (1994) stresses that low P transfers, typically less than 5% of the total applied, are usually observed in conservation systems. This shows that, even at low rates, PS application reduces the transfer of organic and mineral particles in the runoff, enhancing soil protection.

## 6.6 Conclusions

The high amounts of P applied through PS applications caused significant increases in P in the soil, resulting in transfers by runoff in the following order, available P > soluble P > particulate P. However, runoff volume was the main factor responsible for the transfers of P by surface runoff and these transfers were relatively small, even with high application rates of PS. Thus, in areas with PS applications over multiple years, it is highly recommended that crop rotations be implemented to maintain adequate ground cover with the aim of reducing surface runoff volume.

## 6.7 References

- Adeli, A., Varco, J.J., Rowe, D.E., 2003. Swine effluent irrigation rate and timing effects on bermudagrass growth, nitrogen and phosphorus utilization and residual soil nitrogen. *J. Environ. Qual.* 32, 681-686.
- Adeli, A., Bolster, C.H., Rowe, D.E., Mclaughlin, M.R., Brink, G.E. 2008. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. *Soil Sci.* 173, 223-235.
- Allen, B.L. and Mallarino, A.R. 2008. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. *J. Environ. Qual.* 37:125-137.
- Andrade, F.V., Mendonça, E.S., Alvarez, V.H., Novais, R.F. 2003. Adição de ácidos orgânicos e húmicos em latossolos e adsorção de fosfato. *R. Bras. Ci. Solo* 27, 1003-1011.
- Andraski, T.W., Bundy, L.G., Kilia, K.C., 2003. Manure history and long-term tillage effects on soil properties and phosphorus losses in runoff. *J. Environ. Qual.* 32, 1782-1789.
- Barrow, N.J., Bolland, M.D.A., Allen, D.G. 1998. Effect of addition of superphosphate on adsorption of phosphate. *Austr. J. Soil Res.* 36, 359-372.
- Barrow, N.J. 1999. The four laws of soil chemistry: the Leeper lecture 1998. *Aust. J. Soil Res.* 37, 787-829.
- Bertol, O.J., Rizzi, N.E., Favaretto, N., Lana, M.C. 2010. Phosphorus loss by surface runoff in no-till system under mineral and organic fertilization. *Sci. Agric.* 67, 71-77.
- Brookes, P.C. and Powlson, D.C. 1982. Preventing phosphorus losses during perchloric acid digestion of sodium bicarbonate soil extracts. *J. Sci. Food Agric.* 32, 671-674.
- Bundy, L.G., Andraski, T.W., Powell, J.M. 2001. Management practice effects on phosphorus losses in runoff in corn production systems. *J. Environ. Qual.* 30, 1822-1828.
- Cassol, P.C., Gianello, C., Costa, V.E.U., 2001. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. *R. Bras. Ci. Solo* 25, 635-644.
- Ceretta, C.A., Basso, C.J., Vieira, F.C.B., Herbes, M.G., Moreira, I.C.L., Berwanger, A.L., 2005a. Dejeito líquido de suínos: I-perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ci. Rural* 35, 1296-1304.
- Ceretta, C.A., Basso, C.J., Pavinato, P.S., Trentin, E.E., Giroto, E., 2005b. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. *Ci. Rural*, 35, 1287-1295.
- Ceretta, C.A., Lorensini, F., Brunetto, G., Giroto, E., Gatiboni, L.C., Lourenzi, C.R., Tiecher, T.L., Conti, L., Trentin, G., Miotto, A. 2010a. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.* 45, 593-602.

Ceretta, C.A., Girotto, E., Lourenzi, C.R., Trentin, G., Vieira, R.C.B., Brunetto, G. 2010b. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric. Ecosyst. Environ.* 139, 689-699.

Chardon, W.J., Aalderink, G.H., van der Salm, C. 2007. Phosphorus leaching from cow manure patches on soil columns. *J. Environ. Qual.* 36, 17-22.

CONAMA-Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Resolução CONAMA N° 357. Available at: <http://www.crq4.org.br/downloads/resolucao357.pdf>. (verified 12 august 2013), CONAMA, Brasília, Brazil.

Cordell, D., Drangert, J.O., Stuart, W., 2009. The story of phosphorus: global food security and food for thought. *Global Environ. Chang.* 19, 292-305.

CQFS-RS/SC – Comissão de química e fertilidade do solo. 2004. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Press.

Daverede, I.C., Kravchenko, A.N., Hoef, R.G., Nafziger, E.D., Bullock, D.G., Warren, J.J., Gonzini, L.C. 2004. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.* 33, 1535-1544.

Ferreira, D. F. 2008. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Rev. Symposium*, 6, 36-41.

Gatiboni, L.C., Brunetto, G., Kaminski, J., Rheinheimer, D.S., Ceretta, C.A., Basso, C.J. 2008. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo* 32, 1753-1761.

Girotto, E., Ceretta, C.A., Lourenzi, C.L., Lorensini, f., Tiecher, T.L., Vieira, R.C.B., Trentin, G., Basso, C.J., Miotto, A., Brunetto, G., 2013. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 95, 115-131.

Guardini, R., Comin, J.J., Schmitt, D.E., Tiecher, T., Bender, M.A., Rheinheimer, D.S., Mezzari, C.P., Oliveira, B.S., Gatiboni, L.C., Brunetto, G. 2012. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 93, 215-225.

Hahn, C., Prasuhn, V., Stamm, C., Schulin, R. 2012. Phosphorus losses in runoff from manured grassland of different soil P status at two rainfall intensities. *Agric. Ecosyst. Environ.* 153, 65-74.

Hart, M.R. and Cornish, P.S. 2012. Available soil phosphorus, phosphorus buffering and soil cover determine most variation in phosphorus concentration in runoff from pastoral sites. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 93, 227-244.

Haygarth, P.M. and Sharpley, A.N. 2000. Terminology for phosphorus transfer. *J. Environ. Qual.* 29, 10-15.

- Jiao, P., Xu, D., Wang, S., Zhang, T. 2011. Phosphorus loss by surface runoff from agricultural field plots with different cropping systems. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 90, 23-32.
- Kang, J., Amoozegar, A., Hesterberg, D., Osmond, D.L., 2011. Phosphorus leaching in a sandy soil as affected by organic and inorganic fertilizer sources. *Geoderma* 161, 194-201.
- Kleinman, P.J.A., Sharpley, A.N., Saporito, L.S., Buda, A.R., Bryant R.B. 2009. Application of manure to no-till soils: phosphorus losses by sub-surface and surface pathways. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 84, 215-227.
- Krutz, L.J., Locke, M.A., Steinriede, R.W.Jr. 2009. Interactions of tillage and cover crop on water, sediment, and pre-emergence herbicide loss in glyphosate-resistant cotton: Implications for the control of glyphosate-resistant weed biotypes. *J. Environ. Qual.* 38, 1240-1247.
- Lourenzi, C.R., Ceretta, C.A., Silva, L.S., Giroto, E., Lorensini, F., Tiecher, T.L., De Conti, L., Trentin, G., Brunetto, G. 2013. Nutrients in soil layers under no-tillage after successive pig slurry applications. *R. Bras. Ci. Solo* 37, 157-167.
- McDowell, R.W., Sharpley, A.N., Crush, J.R., Simmons, T. 2011. Phosphorus in pasture plants: potential implications for phosphorus loss in surface runoff. *Plant Soil* 345, 23-35.
- Murphy, J., Riley, J.P., 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27, 31-36.
- Parfitt, R.L. 1989. Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite and goethite. *J. Soil Sci.* 40, 359-369.
- Payet, N., Findeling, A., Chopart, J.L., Feder F., Nicolini, E., Macary, H.S., Vauclin, M., 2009. Modelling the fate of nitrogen following pig slurry application on a tropical cropped acid soil on the Island of Réunion (France). *Agric. Ecosyst. Environ.* 134, 218-233.
- Rheinheimer, D.S., Anghinoni, I., Kaminski, J. 2000. Depleção do fósforo inorgânico de diferentes frações provocada pela extração sucessiva com resina em diferentes solos e manejos. *R. Bras. Ci. Solo* 24, 345-354.
- Scherer, E.E., Nesi, C.N., Massotti, Z. 2010. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. *R. Bras. Ci. Solo*, 34, 1375-1383.
- Sharpley, A.N., Chapra, S.C., Wedepohl, R., Sims, J.T., Daniel, T.C., Reddy, K.R. 1994. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.* 23, 437-451.
- Smith, K.A., Jackson, D.R., Withers, P.J.A. 2001. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manure to arable land. 2. Phosphorus. *Environ. Pollution* 112, 53-60.
- Smith, D.R., Owens, P.R., Leytem, A.B., Warne-Muende, E. A., 2007. Applications as impacted by time to first runoff event. *Environ. Pollution* 147, 131-137.

Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy 2nd. United States Department of Agriculture (Ed.), Washington, USA.

Sweeney, D.W., Pierzynski, G.M., Barnes, P.L. 2012. Nutrient losses in field-scale surface runoff from claypan soil receiving turkey litter and fertilizer. *Agric. Ecosyst. Environ.* 150, 19-26.

Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissani, C.A, Bohnen, H., Volkweiss, S.J., 1995. Análises de solo, planta e outros materiais. 2nd. ed. (Boletim técnico, 5), Porto Alegre, Univ. Federal do Rio Grande do Sul, Press.

Udawatta, R.P., Motavalli, P.P., Garrett, H.E., Krstansky, J.J. Nitrogen losses in runoff from three adjacent agricultural watersheds with claypan soils. *Agric. Ecosyst. Environ.* 117, 39-48.

Vadas, P.A., Jokela, W.E, Franklin, D.H., Endale, D.M. 2011. The effect of rain and runoff when assessing timing of manure application and dissolved phosphorus loss in runoff. *J. Am. Water Resour. As.* 47, 877-886.

Wang, W., Liang, T., Wang, L., Liu, Y., Wang, Y., Zhang, C. 2013. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. *Environ. Earth Sci.* 68, 1313-1319.

Yu, S., He, Z.L., Stoffella, P.J., Calvert, D.V., Yang, X.E., Banks, D.J., Baligar, V.C. 2006. Surface runoff phosphorus (P) loss in relation to phosphatase activity and soil P fractions in Florida sandy soils under citrus production. *Soil Biol. Biochem.* 38, 619-628.

## 7 DISCUSSÃO GERAL

A proposta do presente estudo foi de avaliar os efeitos do uso de dejetos de suínos na produção das culturas, na quantidade e qualidade da matéria orgânica do solo e nas transferências de formas de fósforo por escoamento superficial.

As aplicações de dejetos de suínos proporcionaram incrementos na produtividade de grãos, produção de matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas. Esses efeitos dependem, principalmente, das quantidades de nutrientes aplicados via dejetos, dos teores de nutrientes disponíveis no solo e do potencial de resposta de cada cultura. As altas concentrações de nutrientes presentes nos dejetos, como pode ser observado no quadro 2, são devido ao baixo aproveitamento pelos animais dos nutrientes ofertados nas rações sendo que, em média, 80% do N, 78% do P e 95% do K presentes nas dietas estão presentes no dejetos fresco, dependendo da espécie animal e do tipo de dieta (KIRCHMANN, 1994). Para o Cu e Zn, em torno de 90% do total ingerido pelos suínos através dos suplementos minerais são excretados nas fezes e urina (ALDRICH et al., 2002; NICHOLSON et al., 2003). Isso reforça a importância do uso de dejetos como fonte de nutrientes para as culturas, com foco na ciclagem, permitindo que a maior parte destes elementos não aproveitados pelos animais sejam incorporados ao sistema produtivo das propriedades, reduzindo custos com fertilizantes industrializados e redução no potencial poluente desses resíduos.

Outro fator importante para o desenvolvimento das culturas é a disponibilidade de nutrientes no solo. Nesse sentido, as aplicações de dejetos promoveram alterações nos atributos químicos do solo, sendo reflexo das altas concentrações de nutrientes presentes nos dejetos. Os principais efeitos observados foram o aumento na disponibilidade de nutrientes, como o P, K, Ca, Mg, Cu e Zn, aumento nos teores e matéria orgânica e nos valores de pH e redução da saturação por Al (Quadro 1). Resultados semelhantes foram obtidos por Scherer et al. (2010) que, em estudo avaliando os efeitos de aplicações de dejetos de suínos nas propriedades químicas de três solos, observaram incrementos nos teores P, K, Cu e Zn. Além disso, de acordo com Chantigny et al. (2004), a característica alcalina e a presença de carbonatos no dejetos (WHALEN et al., 2000), que são facilmente dissociados em solos ácidos (CHANTIGNY et al., 2001; ROCHETTE et al., 2000), podem provocar elevação dos valores de pH do solo. Essas alterações nos atributos químicos proporcionam melhores condições para o desenvolvimento das culturas, e isso reflete em maiores produtividades, como

observado no presente estudo e também por Adeli et al. (2003), Ceretta et al. (2005b) e Durigon et al. (2002).

Apesar das alterações dos atributos químicos do solo observadas no presente estudo serem benéficas para o desenvolvimento das culturas, muitas vezes as aplicações sucessivas de dejetos promovem incrementos excessivos nos teores de nutrientes no solo, acima da demanda das plantas e da capacidade de adsorção do solo (McDOWELL et al., 2001; BERWANGER et al., 2008). Nesse caso, cabe aos técnicos e produtores utilizarem critérios como a concentração de nutrientes no dejetos, o estado nutricional do solo e, principalmente, a cultura a ser estabelecida para determinar a dose de dejetos a ser utilizada, adequando a dose de dejetos ao nutriente que atingir primeiro a exigência da cultura e complementar os outros nutrientes com adubação mineral, conforme preconizado pela CQFS-RS/SC (2004). Essas considerações são importantes uma vez que podem tornar a utilização dos dejetos uma prática econômica, social e ambientalmente viável em nível de pequenas propriedades, característica da maioria dos suinocultores.

As maiores produções de matéria seca pelas culturas submetidas às aplicações de dejetos de suínos proporcionaram adição de material orgânico ao solo que, conseqüentemente, apresentou incrementos nos teores de matéria orgânica do solo (MOS). Entretanto, a dinâmica de incremento dos teores da MOS foi variável de acordo com o tipo de solo e isso se observou no presente estudo, pois o Argissolo apresentou os maiores incrementos nos teores de MOS, apesar das adições de material orgânico terem sido semelhantes ao do Latossolo. Resultados semelhantes foram obtidos por Adeli et al. (2008) que, em estudo avaliando os efeitos de aplicações de dejetos de suínos nas propriedades químicas de três solos, observaram incrementos nos teores de MOS. Além disso, Adeli et al. (2008) salientam que os incrementos no teores de MOS estão relacionadas com o tipo de solo onde são realizadas as aplicações de dejetos.

Os incrementos nos teores de MOS são altamente desejáveis, pois melhoram as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Em solos com aplicações de dejetos de suínos também ocorre a adição de altas quantidades de metais pesados, como o Cu, Zn, Mn, entre outros, promovendo incrementos nos teores disponíveis e totais desses elementos no solo, como observado em estudos desenvolvidos por Adeli et al. (2007), Basso et al. (2012), Giroto et al. (2010) e Matias et al. (2010). Nesses ambientes, a MOS pode atuar como agente complexante desses elementos, formando complexos organometálicos e reduzindo a disponibilidade dos metais e a possibilidade de serem transferidos para ambientes aquáticos. Nesse sentido, em trabalho objetivando avaliar o acúmulo de Cu e Zn e suas formas em solo



submetido a aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos, Girotto et al. (2010) observaram que estreita relação, especialmente, entre o Cu e a fração orgânica do solo.

É importante destacar que, além dos incrementos quantitativos da MOS, a adição de compostos orgânicos através das aplicações de dejetos de suínos podem alterar a composição química da MOS. No presente estudo, foi observado aumento na intensidade da banda de absorção na região dos grupamentos alifáticos do ácido húmico da camada 0-4 cm do Argissolo com aplicação de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos líquidos de suínos. Resultados semelhantes foram obtidos por Hernández et al. (2006) em estudo avaliando os efeitos das aplicações de dejetos de suínos nas propriedades químicas da MOS. Esses autores atribuíram os resultados obtidos à incorporação dos grupos alifáticos presentes no ácido húmico dos dejetos ao ácido húmico da matéria orgânica. Essas alterações podem modificar a funcionalidade da MOS, uma vez que alteram a proporção de grupos reativos, como carboxílicos e fenólicos. Dessa forma, em ambientes com aplicações de dejetos, isso pode representar maior capacidade de complexação de elementos tóxicos e alteração no equilíbrio de processos como a mineralização da MOS.

A utilização de dejetos de suínos como fonte de nutrientes para as plantas, apesar de apresentar bons resultados para a produtividade das culturas (ADELI et al., 2003; CERETTA et al., 2005b; DURIGON et al., 2002) e para os atributos químicos do solo (ADELI et al., 2008; LOURENZI et al., 2011; LOURENZI et al., 2013; SCHRER et al., 2010), também pode favorecer o acúmulo no solo e a transferência de elementos, como o N, P, Cu e Zn, para mananciais de água, provocando a eutrofização e deterioração de rios e lagos (WANG et al., 2013).

No presente estudo, as aplicações de dejetos de suínos promoveram incrementos nos teores de P disponível no solo. Isso ocorre pelo fato das aplicações de dejetos terem sido realizadas superficialmente, sem incorporação ao solo, favorecendo o acúmulo de P nas camadas superficiais do solo. Resultados semelhantes foram observados por Scherer et al. (2007) em estudo realizado para avaliar as propriedades químicas de um Latossolo submetido a aplicações de dejetos de suínos. Além disso, nos dejetos o P é encontrado, geralmente, mais de 60% em formas inorgânicas (CASSOL et al., 2001), o que favorece o acúmulo dessas formas de P em solos com aplicações sucessivas de dejetos de suínos, como observado em estudos desenvolvidos por Gatiboni et al. (2008), Ceretta et al. (2010a), Guardini et al. (2012) e Lourenzi et al. (2013).

Os incrementos observados nos teores de P disponível no solo refletiram nas transferências das formas de P por escoamento superficial. As maiores transferências foram

observadas na forma disponível, seguida pela forma solúvel e, em menor concentração, a forma particulada. Além disso, é importante destacar que o principal fator responsável pelas transferências das formas de P foi o volume de solução escoada superficialmente. O fato de a forma particulada ter apresentado as menores transferências indica que as aplicações de dejetos, pelo fato de proporcionar aumento na produção de matéria seca pelas culturas e nos teores de matéria orgânica do solo, reduzem as transferências de partículas de solo o que também é importante do ponto de vista da conservação do solo.

Na intenção de sumarizar a discussão, observa-se que as aplicações de dejetos, na medida em que promovem alterações nos atributos químicos do solo, proporcionam melhor ambiente para o desenvolvimento radicular das culturas devido à redução da acidez e maior aporte de nutrientes na solução do solo. Isso reflete em maiores produtividades de grãos, matéria seca e acúmulo de nutrientes na parte aérea das culturas, promovendo uma ciclagem de nutrientes dentro do sistema produtivo onde a atividade suinícola está inserida e proporcionando incrementos nos teores de matéria orgânica do solo. Isso é altamente desejável por causa dos benefícios que esse atributo proporciona ao solo, tanto do ponto de vista nutricional, por regular a disponibilidade de alguns nutrientes, quanto do ponto de vista ambiental, pela complexação de elementos tóxicos adicionados ao solo com os dejetos.

Pelo fato da atividade suinícola estar inserida, predominantemente, em pequenas propriedades rurais, é importante destacar que são necessários estudos sobre o efeito dos dejetos no solo e no ambiente no âmbito de microbacias hidrográficas. Isso porque, devido a oscilação do relevo e condições de drenagem, dentro de uma mesma microbacia hidrográfica, podem ocorrer diferentes tipos de solo, sendo que as reações químicas que ocorrem no solo decorrentes das aplicações de dejetos apresentam comportamento diferenciado, refletindo em diferentes capacidades dos solos em suportar aplicações sucessivas de dejetos de suínos. Como os limites das microbacias hidrográficas são definidos pelo sentido de drenagem da água, é importante o estudo do destino e da qualidade da água dentro das microbacias, uma vez que a maioria dos produtores utilizam a água proveniente de fontes inseridas dentro das microbacias para seu próprio consumo. Esse entendimento é de extrema importância, isso porque, com manejo adequado do dejetos e práticas conservacionistas nas lavouras, a utilização do dejetos como fonte de nutrientes torna-se uma prática segura, minimizando os riscos de contaminação ambiental e aumentando eficiência do uso dos nutrientes por parte das culturas.

Portanto, para agregar conhecimento ao tema abordado no presente estudo, é importante a realização de pesquisas avaliando os efeitos das aplicações de dejetos de suínos na produtividade das culturas e na qualidade da matéria orgânica em solos que apresentem

diferentes mineralogias. Isso porque, os solos avaliados no presente estudo apresentam, normalmente, predomínio de caulinita (Argissolo) e óxidos de Fe (Latosolo). Dessa forma, a realização de estudos em solos com minerais do tipo 2:1, muito comuns em áreas que recebem aplicações de dejetos de suínos no noroeste do estado do Rio Grande do Sul e Oeste do estado de Santa Catarina, por exemplo, podem agregar informações importantes para o entendimento da dinâmica da matéria orgânica em áreas que recebem aplicações de dejetos e apresentem esses tipos de minerais. Isso porque, solos com minerais do tipo 2:1, que apresentam maior CTC em relação aos minerais 1:1 e óxidos dos solos avaliados no presente estudo, podem apresentar comportamento diferente em relação ao acúmulo, qualidade e estabilização da matéria orgânica do solo. Além disso, é necessária a realização de estudos que avaliem as transferências de nutrientes por escoamento superficial em outros tipos de solos, pois a dinâmica de equilíbrio dos nutrientes na solução do solo é altamente influenciada pelas características das frações mineral e orgânica, influenciando na disponibilidade de nutrientes na solução do solo e na possibilidade de serem transferidos por escoamento superficial.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELI, A.; VARCO, J. J.; ROWE, D. E. Swine effluent irrigation rate and timing effects on bermudagrass growth, nitrogen and phosphorus utilization and residual soil nitrogen. **Journal of Environmental Quality**, v. 32, p. 681-686, 2003.

ADELI, A. et al. Broiler litter application effects on selected trace elements under conventional and no-till systems. **Soil Science**, v. 172, p. 349-365, 2007.

ADELI, A. et al. Effect of long-term swine effluent application on selected soil properties. **Soil Science**, v. 173, p. 223-235, 2008.

ABIPECS - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA. 2011. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acesso em 04 de agosto de 2012.

ALDRICH, A. P.; KISTLER, D.; SIGG, L. Speciation of Cu and Zn in drainage water from agricultural soils. **Environmental Science & Technology**, v. 36, p. 4824-4830, 2002.

ASSMANN, T. S. et al. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1515-1523, 2007.

BASSO, C. J. et al. Dejeito líquido de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1305-1312, 2005.

BASSO, C. J. et al. Teores totais de metais pesados no solo após aplicação de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**, v. 42, p. 653-659, 2012.

BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 2525-2532, 2008.

BRUUN, T. B.; ELBERLING, B.; CHRISTENSEN, B. T. 2010. Lability of soil organic carbon in tropical soils with different clay minerals. **Soil Biology & Biochemistry**. v. 42, p. 888-895, 2010.

CARNEIRO, J. P.; COUTINHO, J.; TRINDADE, H. Nitrate leaching from a maize x oats double-cropping forage system fertilized with organic residues under Mediterranean conditions. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 160, p. 29-39, 2012.

CASSOL, P.C.; GIANELLO, C.; COSTA, V.E.U. Frações de fósforo em estrumes e sua eficiência como adubo fosfatado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 635-644, 2001.

CERETTA, C. A. et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38, p. 729-735, 2003.

CERETTA, C. A. et al. Dejeito líquido de suínos: I-perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1296-1304, 2005a.

CERETTA, C. A. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. **Ciência Rural**, v. 35, p. 1287-1295, 2005b.

CERETTA, C. A. et al. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 45, p. 593-602, 2010a.

CERETTA, C. A. et al. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 139, p. 689-699, 2010b.

CHANTIGNY, M. H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D.A. Short-term C and N dynamics in a soil amended with pig slurry and barley straw: A field experiment. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 81, p.131-137, 2001.

CHANTIGNY, M. H. et al. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 306-312, 2004.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: UFRGS, 2004. 400 p.

DAVEREDE, I .C. et al. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 1535-1544, 2004.

DINEL, H.; GREGORICH, E. G. Structural stability status as affected by long-term continuous maize and bluegrass sod treatments. **Biological Agriculture & Horticulture**, v. 12, p. 237-252, 1995.

DURIGON et al. Produção de forragem em pastagem natural com o uso de esterco líquido de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 983-992, 2002.

EUSTERHUES, K.; RUMPEL, C.; KÖGEL-KNABNER, I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1567-1575, 2005.

GATIBONI, L.C. et al. Formas de fósforo no solo após sucessivas adições de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1753-1761, 2008.

GESSEL, P. D. et al. Rate of fall-applied liquid swine manure: effects on runoff transport of sediment and phosphorus. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 1839-1844, 2004.

GIROTTI, E. et al. Acúmulo e formas de cobre e zinco no solo após aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 955-965, 2010.

GIROTTI, E. et al. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 95, p. 115-131, 2013.

GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typical Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 93, p. 215-225, 2012.

HART, M. R.; QUIN, B. F.; NGUYEN, M. L. Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: A Review. **Journal of Environmental Quality**, v. 33, p. 1954-1972, 2004.

HAYGARTH, P. M.; SHARPLEY, A. N. Terminology for phosphorus transfer. **Journal of Environmental Quality**, v. 29, p. 10-15, 2000.

HERNÁNDEZ, D. et al. Detection of Copper(II) and zinc(II) binding to humic acids from pig slurry and amended soils by fluorescence spectroscopy. **Environmental Pollution**, v. 143, p. 212-220, 2006.

HERNÁNDEZ, D. et al. Fluorescence analysis of copper(II) and zinc(II) binding behaviour of fulvic acids from pig slurry and amended soils. **European Journal of Soil Science**, v. 58, p. 900-908, 2007.

KAISER, K.; GUGGENBERGER, G. Sorptive stabilization of organic matter by microporous goethite: sorption into small pores vs. surface complexation. **European Journal of Soil Science**, v. 58, p. 45-59, 2007.

KIRCHMANN, H. Animal and municipal organic wastes and water quality. In: LAL, R. & STEWART, A.B. **Soil Processes and Water Quality**, Madison, p.163-232, 1994.

KLEINMAN, P. J. A. et al. Application of manure to no-till soils: phosphorus losses by sub-surface and surface pathways. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 84, p. 215-227, 2009.

LOU, Y. et al. Soil organic carbon fractions and management index after 20 yr of manure and fertilizer application for greenhouse Vegetables. **Soil Use and Management**, v. 27, p. 163-169, 2011.

LOURENZI, C. R. et al. Soil chemical properties related to acidity under successive pig slurry application. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1827-1836, 2011.

LOURENZI, C. R. et al. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 157-167, 2013.

LÜTZOW, M. V. et al. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions - a review. **European Journal of Soil Science**, v. 57, p. 426-445, 2006.

MATTIAS, J. L. et al. Copper, zinc and manganese in soils of two watersheds in Santa Catarina with intensive use of pig slurry. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1445-1454, 2010.

McDOWELL, R.; SHARPLEY, A.; FOLMAR, G. Phosphorus export from an agricultural watershed: Linking source and transport mechanisms. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 1587-1595, 2001.

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.

NICHOLSON, F. A. et al. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. **Science of the Total Environment**, v. 311, p. 205-219, 2003.

ROCHETTE, P. et al. Soil carbon and nitrogen dynamics following application of pig slurry for the 19th consecutive year: II. Nitrous oxide fluxes and mineral nitrogen. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 1396-1403, 2000.

SANTANA, G. S. et al. Substâncias húmicas e suas interações com Fe e Al em Latossolo subtropical sob diferentes sistemas de manejo de pastagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 461-472, 2011.

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

SCHERER, E. E.; NESI, C. N.; MASSOTTI, Z. Atributos químicos do solo influenciados por sucessivas aplicações de dejetos suínos em áreas agrícolas de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1375-1383, 2010.

SCHÖNING, I.; KNICKER, H.; KÖGEL-KNABNER, I. Intimate association between O/N-alkyl carbon and iron oxides in clay fractions of forest soils. **Organic Geochemistry**, v. 36, p. 1378-1390, 2005.

SEGANFREDO, M. A.; GIROTTO, A. F. **O impacto econômico do tratamento dos dejetos em unidades terminadoras de suínos**. Concórdia: EMBRAPA, 2004.

SISTANI, K. R.; SIKORA, F. J.; RASNAKE, M. Poultry litter and tillage influences on corn production and soil nutrients in a Kentucky silt loam soil. **Soil & Tillage Research**, v. 98, p. 130-139, 2008.

SMITH, K. A.; JACKSON, D. R.; WITHERS, P. J. A. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manure to arable land. 2. Phosphorus. **Environmental Pollution**, v. 112, p. 53-60, 2001.

SMITH, D. R. et al. Applications as impacted by time to first runoff event. **Environmental Pollution**, v. 147, p. 131-137, 2007.



SORENSEN, P.; RUBAEK, G. H. R. Leaching of nitrate and phosphorus after autumn and spring application of separated solid animal manures to winter wheat. **Soil Use and Management**, v. 28, p. 1-11, 2012.

SWEENEY, D. W.; PIERZYNSKI, G. M.; BARNES, P. L. Nutrient losses in field-scale surface runoff from claypan soil receiving turkey litter and fertilizer. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 150, p. 19-26, 2012.

VADAS, P. A. et al. A model for phosphorus transformation and runoff loss for surface-applied manures. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 324-332, 2007.

VADAS, P. A. et al. The effect of rain and runoff when assessing timing of manure application and dissolved phosphorus loss in runoff. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 47, p. 877-886, 2011.

WANG, W. et al. The effects of fertilizer applications on runoff loss of phosphorus. **Environmental Earth Sciences**, v. 68, p. 1313-1319, 2013.

WHALEN, J. K. et al. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 64, p. 962-966, 2000.

WITHERS, P. J. A.; CLAY, S. D.; BREEZE, V. G. Phosphorus transfer in runoff following application of fertilizer, manure, and sewage sludge. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, p. 180-188, 2001.

## **9 ANEXOS**

## **ANEXO A. Instruções aos autores da Revista Brasileira de Ciência do Solo.**

A Revista Brasileira de Ciência do Solo é um periódico de divulgação científica publicado pela Sociedade Brasileira de Ciência do Solo (SBCS).

Os trabalhos submetidos à publicação somente poderão ser enviados pelo site [www.sbcs.org.br](http://www.sbcs.org.br), e não mais em papel, e nas seguintes formas:

- Artigos ou notas científicas.

- Revisões de literatura sobre tema específico.

- Cartas ao Editor de, no máximo, quatro páginas digitadas em espaço duplo, contendo um dos seguintes temas: (a) Comunicação de matéria diretamente ligada à Ciência do Solo; (b) Comentário crítico de trabalhos publicados na Revista Brasileira de Ciência do Solo.

Só serão aceitos trabalhos escritos em português ou inglês, depois de revistos e aprovados pela Comissão Editorial, e que não foram publicados e não submetidos à publicação em outro veículo. Excetuam-se, nesta última limitação, os apresentados em congressos, em forma de resumo. O autor que encaminhar o trabalho deverá se responsabilizar pelos demais autores, quando houver, como co-responsáveis pelo conteúdo científico do trabalho.

Os trabalhos subdivididos em partes I, II..., devem ser enviados juntos, pois serão submetidos aos mesmos revisores.

Solicita-se observar as seguintes instruções para o preparo dos artigos e notas científicas:

1. O original deve ser encaminhado completo e revisto.
2. Deve ser enviado digitado em espaço 1,5, utilizando fonte “Times New Roman 12”, formato A4, com 2,5 cm nas margens superior e inferior e 2,0 cm nas margens direita e esquerda, enumerando-se todas as páginas e as linhas do texto.
3. O trabalho deve ser o mais claro e conciso possível. Somente em casos especiais serão aceitos trabalhos com número de páginas de texto superior a quinze.
4. Os artigos, notas e revisões deverão ser iniciados com o título do trabalho e, logo abaixo, os nomes completos dos autores. Como chamada de rodapé referente ao título, deve-se usar número-índice que poderá indicar se foi trabalho extraído de tese, ou apresentado em congresso, entidades financiadoras do projeto e, necessariamente, a data (Recebido para publicação em / / ) em que o trabalho foi recebido para publicação. O cargo, o local de

trabalho dos autores [endereço postal e, se possível, eletrônico (E-mail)], deverão ser inseridos também no rodapé, em numeração consecutiva de chamada de números-índices colocados logo após o nome de cada autor. A condição de bolsista poderá ser incluída.

5. Os artigos deverão ser divididos, sempre que possível, em seções com cabeçalho, na seguinte ordem: RESUMO, SUMMARY (precedido da tradução do título para o inglês), INTRODUÇÃO, MATERIAL E MÉTODOS, RESULTADOS, DISCUSSÃO, CONCLUSÕES, AGRADECIMENTOS e LITERATURA CITADA. Não há necessidade dessa subdivisão para os artigos sobre educação, revisões de literatura e notas científicas, embora devam ter, obrigatoriamente, RESUMO e SUMMARY.

Tais seções devem ser constituídas de:

5.1. TÍTULO do trabalho que deve ser conciso e indicar o seu conteúdo.

5.2. RESUMO que deve apresentar, objetivamente, uma breve frase introdutória, que justifique o trabalho, o que foi feito e estudado, os mais importantes resultados e conclusões. Será seguido da indicação dos termos de indexação, diferentes daqueles constantes do título. A tradução do RESUMO para o inglês constituirá o SUMMARY.

5.3. INTRODUÇÃO que deve ser breve, esclarecendo o tipo de problema abordado ou a(s) hipótese(s) de trabalho, com citação da bibliografia específica e finalizar com a indicação do objetivo do trabalho.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS em que devem ser reunidas informações necessárias e suficientes que possibilitem a repetição do trabalho por outros pesquisadores.

5.5. RESULTADOS que devem conter uma apresentação concisa dos dados obtidos. Quadros ou figuras devem ser preparados sem dados supérfluos.

5.6. DISCUSSÃO que deve conter os resultados analisados, levando em conta a literatura, mas sem introdução de novos dados.

5.7. CONCLUSÕES que devem basear-se somente nos dados apresentados no trabalho e deverão ser numeradas.

5.8. AGRADECIMENTOS devem ser sucintos e não aparecer no texto ou em notas de rodapé.

5.9. LITERATURA CITADA, incluindo trabalhos citados no texto, quadro(s) ou figura(s) e inserida em ordem alfabética e da seguinte forma:

a. Periódicos: Nome de todos os autores, Título do artigo. Título abreviado do periódico, volume: páginas inicial e final, ano de publicação. Exemplo:

FONSECA, J.A. & MEURER, E.J. Inibição da absorção de magnésio pelo potássio em plântulas de milho em solução nutritiva. R. Bras. Ci. Solo, 21:47-50, 1997.

b. Livro: Autores. Título da publicação. Número da edição. Local, Editora, ano de publicação. Número de páginas. Exemplo:

KONHNKE, H. Soil physics. 2.ed. New York, MacGraw Hill, 1969. 224p.

c. Participação em obra coletiva: Autores. Título da parte referenciada seguida de In: Nome do editor. Título da publicação, número da edição. Local de Publicação, Editora, ano. Páginas inicial e final. Exemplos:

- Capítulo de livro: JACKSON, M.L. Chemical composition of soil. In: BEAR, F.E., ed. Chemistry of the soil. 2.ed. New York, Reinhold, 1964. p.71-141.

d. Trabalho em Anais: VETTORI, L. Ferro “livre” por cálculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.127-128.

e. CD-ROM: SILVA, M.L.N.; FREITAS, P.L.; BLANCANEUX, P. & CURI, N. Índice de erosividade de chuva da região de Goiânia (GO). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO. 13., 1996. Anais. Águas de Lindóia, Embrapa, 1996. CD-ROM

f. Internet: EL NIÑO and La Niña. Disponível em: < <http://www.stormfax.com/elnino.htm>>. Acesso em 15 out. 2000. As abreviações de nome de revistas devem ser feitas de acordo com as usadas pelos “abstracting journals”, como dos Commonwealth Agricultural Bureaux.

6. As Referências no texto deverão ser feitas na forma: Silva & Smith (1975) ou (Silva & Smith, 1975). Quando houver mais de dois autores, usar a forma reduzida: (Souza et al., 1975). Referências a dois ou mais artigos do(s) mesmo(s) autor(es), no mesmo ano, serão discriminadas com letras minúsculas (Ex.: Silva, 1975a,b).

7. Os quadros deverão ser numerados com algarismos arábicos, sempre providos de um título claro e conciso e construídos de modo a serem auto-explicativos. Não usar linhas verticais. As linhas horizontais devem aparecer para separar o título do cabeçalho e este do conteúdo, além de uma ao final do quadro. O quadro deve ser feito por meio de uma tabela (MICROSOFT WORD/TABELA/INSERIR TABELA), no qual cada valor deve ser digitado em células distintas, estando centralizado e alinhado.

8. Os gráficos deverão ser preparados, utilizando-se “Softwares” compatíveis com “Microsoft Windows” (“Excel”, “Power Point”, “Sigma Plot”, etc.). Para fotos e mapas coloridos utilizar resolução de 150 a 300 DPI. Não serão aceitas figuras que repitam informações de quadros.

9. Fotos coloridas, quando imprescindíveis, a critério da Comissão Editorial, serão, também, aceitas. Os custos adicionais deverão ser cobertos pelos autores.

10. Para publicação de artigos na RBCS serão cobrados por página editorada (forma final na Revista): para sócios da SBCS (primeiro autor e, ou, autor correspondente) R\$ 25,00, até oito páginas, e R\$ 50,00 por página adicional, para não-sócios (primeiro autor e, ou, autor correspondente): R\$ 50,00 por página até oito páginas e R\$ 100,00 por página adicional.

## **ANEXO B. GUIDE FOR AUTHORS (GEODERMA and AGRICULTURE, ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT)**

### INTRODUCTION

For many years, Geoderma has helped to stimulate wide interdisciplinary cooperation and understanding among workers in the different fields of soil science by bringing together papers from the entire field of soil research rather than emphasizing any one sub-discipline.

The Journal welcomes interdisciplinary work preferably focussing on occurrence and dynamic characterization in space and time of soils in the field.

Incorporating Soil Science Reviews from 2004.

Types of Paper:

1. Original research papers (Regular Papers)
2. Review articles
3. Book Reviews

Original research papers should report the results of original research. The material should not have been previously published elsewhere, except in a preliminary form. Review articles should cover subjects falling within the scope of the journal and which are of active current interest. They may be submitted or invited. Book Reviews will be included in the journal on a range of relevant books which are not more than 2 years old. Book reviews are solicited by the Book Review Editor. Please e-mail the Book Review Editor for details at: [Alfred.Hartemink@wur.nl](mailto:Alfred.Hartemink@wur.nl)

### BEFORE YOU BEGIN

#### *Ethics in publishing*

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethicsand> <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

#### *Conflict of interest*

All authors are requested to disclose any actual or potential conflict of interest including any financial, personal or other relationships with other people or organizations within three years of beginning the submitted work that could inappropriately influence, or be perceived to influence, their work. See also <http://www.elsevier.com/conflictsofinterest>. Further information and an example of a Conflict of Interest form can be found at: [http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a\\_id/286/p/7923](http://help.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/286/p/7923).

#### *Submission declaration and verification*

Submission of an article implies that the work described has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. To verify originality, your article may be checked by the originality detection service CrossCheck <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

#### *Changes to authorship*

This policy concerns the addition, deletion, or rearrangement of author names in the authorship of accepted manuscripts: Before the accepted manuscript is published in an online issue: Requests to add or remove an author, or to rearrange the author names, must be sent to the Journal Manager from the corresponding author of the accepted manuscript and must include: (a) the reason the name should be added or removed, or the author names rearranged and (b) written confirmation (e-mail, fax, letter) from all authors that they agree with the addition, removal or rearrangement. In the case of addition or removal of authors, this includes confirmation from the author being added or removed. Requests that are not sent by the corresponding author will be forwarded by the Journal Manager to the corresponding author, who must follow the procedure as described above. Note that: (1) Journal Managers will inform the Journal Editors of any such requests and (2) publication of the accepted manuscript in an online issue is suspended until authorship has been agreed. After the accepted manuscript is published in an online issue: Any requests to add, delete, or rearrange author names in an article published in an online issue will follow the same policies as noted above and result in a corrigendum.

#### *Copyright*

This journal offers authors a choice in publishing their research: Open Access and Subscription.

#### For Subscription articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete a 'Journal Publishing Agreement' (for more information on this and copyright, see <http://www.elsevier.com/copyright>). An e-mail will be sent to the corresponding author confirming receipt of the manuscript together with a 'Journal Publishing Agreement' form or a link to the online version of this agreement. Subscribers may reproduce tables of contents or



prepare lists of articles including abstracts for internal circulation within their institutions. Permission of the Publisher is required for resale or distribution outside the institution and for all other derivative works, including compilations and translations (please consult <http://www.elsevier.com/permissions>). If excerpts from other copyrighted works are included, the author(s) must obtain written permission from the copyright owners and credit the source(s) in the article. Elsevier has preprinted forms for use by authors in these cases: please consult <http://www.elsevier.com/permissions>.

#### For Open Access articles

Upon acceptance of an article, authors will be asked to complete an 'Exclusive License Agreement' (for more information see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>). Permitted reuse of open access articles is determined by the author's choice of user license (see <http://www.elsevier.com/openaccesslicenses>).

#### Retained author rights

As an author you (or your employer or institution) retain certain rights. For more information on author rights for: Subscription articles please see <http://www.elsevier.com/journal-authors/author-rights-and-responsibilities>. Open access articles please see <http://www.elsevier.com/OAauthoragreement>.

#### *Role of the funding source*

You are requested to identify who provided financial support for the conduct of the research and/or preparation of the article and to briefly describe the role of the sponsor(s), if any, in study design; in the collection, analysis and interpretation of data; in the writing of the report; and in the decision to submit the article for publication. If the funding source(s) had no such involvement then this should be stated. Please see <http://www.elsevier.com/funding>.

#### *Funding body agreements and policies*

Elsevier has established agreements and developed policies to allow authors whose articles appear in journals published by Elsevier, to comply with potential manuscript archiving requirements as specified as conditions of their grant awards. To learn more about existing agreements and policies please visit <http://www.elsevier.com/fundingbodies>.

#### *Open access*

This journal offers authors a choice in publishing their research:

#### Open Access

- Articles are freely available to both subscribers and the wider public with permitted reuse;
- An Open Access publication fee is payable by authors or their research funder.

### Subscription

- Articles are made available to subscribers as well as developing countries and patient groups through our access programs (<http://www.elsevier.com/access>);

- No Open Access publication fee

All articles published Open Access will be immediately and permanently free for everyone to read and download. Permitted reuse is defined by your choice of one of the following Creative Commons user licenses:

**Creative Commons Attribution (CC BY):** lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts, and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text or data mine the article, even for commercial purposes, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, and do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation.

**Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike (CC BY-NC-SA):** for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, to create extracts, abstracts and other revised versions, adaptations or derivative works of or from an article (such as a translation), to include in a collective work (such as an anthology), to text and data mine the article, as long as they credit the author(s), do not represent the author as endorsing their adaptation of the article, do not modify the article in such a way as to damage the author's honor or reputation, and license their new adaptations or creations under identical terms (CC BY-NC-SA).

**Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivs (CC BY-NC-ND):** for noncommercial purposes, lets others distribute and copy the article, and to include in a collective work (such as an anthology), as long as they credit the author(s) and provided they do not alter or modify the article.

To provide Open Access, this journal has a publication fee which needs to be met by the authors or their research funders for each article published Open Access. Your publication choice will have no effect on the peer review process or acceptance of submitted articles.

The publication fee for this journal is \$2500, excluding taxes. Learn more about Elsevier's pricing policy: <http://www.elsevier.com/openaccesspricing>.

### *Language (usage and editing services)*

Please write your text in good English (American or British usage is accepted, but not a mixture of these). Authors who feel their English language manuscript may require editing to eliminate possible grammatical or spelling errors and to conform to correct scientific

English may wish to use the English Language Editing service available from Elsevier's WebShop <http://webshop.elsevier.com/languageediting/> or visit our customer support site <http://support.elsevier.com> for more information.

#### *Submission*

Submission to this journal proceeds totally online and you will be guided stepwise through the creation and uploading of your files. The system automatically converts source files to a single PDF file of the article, which is used in the peer-review process. Please note that even though manuscript source files are converted to PDF files at submission for the review process, these source files are needed for further processing after acceptance. All correspondence, including notification of the Editor's decision and requests for revision, takes place by e-mail removing the need for a paper trail.

#### Submit your article

Please submit your article via <http://ees.elsevier.com/geoder/>.

#### Referees

Please submit, with the manuscript, the names, addresses and e-mail addresses of 5 potential referees. Note that the editor retains the sole right to decide whether or not the suggested reviewers are used.

## PREPARATION

#### *Use of wordprocessing software*

It is important that the file be saved in the native format of the wordprocessor used. The text should be in single-column format. Keep the layout of the text as simple as possible. Most formatting codes will be removed and replaced on processing the article. In particular, do not use the wordprocessor's options to justify text or to hyphenate words. However, do use bold face, italics, subscripts, superscripts etc. When preparing tables, if you are using a table grid, use only one grid for each individual table and not a grid for each row. If no grid is used, use tabs, not spaces, to align columns. The electronic text should be prepared in a way very similar to that of conventional manuscripts (see also the Guide to Publishing with Elsevier: <http://www.elsevier.com/guidepublication>). Note that source files of figures, tables and text graphics will be required whether or not you embed your figures in the text. See also the section on Electronic artwork. To avoid unnecessary errors you are strongly advised to use the 'spell-check' and 'grammar-check' functions of your wordprocessor.

#### *Article structure*

#### Subdivision - numbered sections

Divide your article into clearly defined and numbered sections. Subsections should be numbered 1.1 (then 1.1.1, 1.1.2, ...), 1.2, etc. (the abstract is not included in section numbering). Use this numbering also for internal cross-referencing: do not just refer to 'the text'. Any subsection may be given a brief heading. Each heading should appear on its own separate line.

### Introduction

State the objectives of the work and provide an adequate background, avoiding a detailed literature survey or a summary of the results.

### Material and methods

Provide sufficient detail to allow the work to be reproduced. Methods already published should be indicated by a reference: only relevant modifications should be described.

### Results

Results should be clear and concise.

### Discussion

This should explore the significance of the results of the work, not repeat them. A combined Results and Discussion section is often appropriate. Avoid extensive citations and discussion of published literature.

### Conclusions

The main conclusions of the study may be presented in a short Conclusions section, which may stand alone or form a subsection of a Discussion or Results and Discussion section.

### Appendices

If there is more than one appendix, they should be identified as A, B, etc. Formulae and equations in appendices should be given separate numbering: Eq. (A.1), Eq. (A.2), etc.; in a subsequent appendix, Eq. (B.1) and so on. Similarly for tables and figures: Table A.1; Fig. A.1, etc.

### *Essential title page information*

- Title: Concise and informative. Titles are often used in information-retrieval systems. Avoid abbreviations and formulae where possible.

- Author names and affiliations: Where the family name may be ambiguous (e.g., a double name), please indicate this clearly. Present the authors' affiliation addresses (where the actual work was done) below the names. Indicate all affiliations with a lower-case superscript letter immediately after the author's name and in front of the appropriate address. Provide the

full postal address of each affiliation, including the country name and, if available, the e-mail address of each author.

- Corresponding author: Clearly indicate who will handle correspondence at all stages of refereeing and publication, also post-publication. Ensure that phone numbers (with country and area code) are provided in addition to the e-mail address and the complete postal address. Contact details must be kept up to date by the corresponding author.

- Present/permanent address: If an author has moved since the work described in the article was done, or was visiting at the time, a 'Present address' (or 'Permanent address') may be indicated as a footnote to that author's name. The address at which the author actually did the work must be retained as the main, affiliation address. Superscript Arabic numerals are used for such footnotes.

#### *Abstract*

A concise and factual abstract is required. The abstract should state briefly the purpose of the research, the principal results and major conclusions. An abstract is often presented separately from the article, so it must be able to stand alone. For this reason, References should be avoided, but if essential, then cite the author(s) and year(s). Also, non-standard or uncommon abbreviations should be avoided, but if essential they must be defined at their first mention in the abstract itself.

#### *Graphical abstract*

A Graphical abstract is optional and should summarize the contents of the article in a concise, pictorial form designed to capture the attention of a wide readership online. Authors must provide images that clearly represent the work described in the article. Graphical abstracts should be submitted as a separate file in the online submission system. Image size: Please provide an image with a minimum of 531 × 1328 pixels (h × w) or proportionally more. The image should be readable at a size of 5 × 13 cm using a regular screen resolution of 96 dpi. Preferred file types: TIFF, EPS, PDF or MS Office files. See <http://www.elsevier.com/graphicalabstracts> for examples. Authors can make use of Elsevier's Illustration and Enhancement service to ensure the best presentation of their images also in accordance with all technical requirements: Illustration Service.

#### *Highlights*

Highlights are mandatory for this journal. They consist of a short collection of bullet points that convey the core findings of the article and should be submitted in a separate file in the online submission system. Please use 'Highlights' in the file name and include 3 to 5 bullet

points (maximum 85 characters, including spaces, per bullet point). See <http://www.elsevier.com/highlights> for examples.

#### Keywords

Authors should provide 4 to 6 keywords. These must be taken from the most recent American Geological Institute GeoRef Thesaurus and should be placed beneath the abstract.

#### *Abbreviations*

Define abbreviations that are not standard in this field in a footnote to be placed on the first page of the article. Such abbreviations that are unavoidable in the abstract must be defined at their first mention there, as well as in the footnote. Ensure consistency of abbreviations throughout the article.

#### *Acknowledgements*

Collate acknowledgements in a separate section at the end of the article before the references and do not, therefore, include them on the title page, as a footnote to the title or otherwise. List here those individuals who provided help during the research (e.g., providing language help, writing assistance or proof reading the article, etc.).

#### *Nomenclature and units*

Follow internationally accepted rules and conventions: use the international system of units (SI). If other quantities are mentioned, give their equivalent in SI. You are urged to consult IUGS: Nomenclature for geological time scales/rock names: <http://www.iugs.org/> for further information.

#### Math formulae

Present simple formulae in the line of normal text where possible. In principle, variables are to be presented in italics. Number consecutively any equations that have to be displayed separate from the text (if referred to explicitly in the text). Subscripts and superscripts should be clear. Greek letters and other non-Roman or handwritten symbols should be explained in the margin where they are first used. Take special care to show clearly the difference between zero (0) and the letter O, and between one (1) and the letter l. Give the meaning of all symbols immediately after the equation in which they are first used. For simple fractions use the solidus (/) instead of a horizontal line. Equations should be numbered serially at the right-hand side in parentheses. In general only equations explicitly referred to in the text need be numbered. The use of fractional powers instead of root signs is recommended. Also powers of e are often more conveniently denoted by exp. Levels of statistical significance which can be mentioned without further explanation are: \*P < 0.05,

\*\*P <0.01 and \*\*\*P <0.001. In chemical formulae, valence of ions should be given as, e.g., Ca<sup>2+</sup>, not as Ca<sup>++</sup>. Isotope numbers should precede the symbols, e.g., <sup>18</sup>O.

#### Footnotes

Footnotes should be used sparingly. Number them consecutively throughout the article, using superscript Arabic numbers. Many wordprocessors build footnotes into the text, and this feature may be used. Should this not be the case, indicate the position of footnotes in the text and present the footnotes themselves separately at the end of the article. Do not include footnotes in the Reference list.

#### Table footnotes

Indicate each footnote in a table with a superscript lowercase letter. Footnotes are not used in figure captions.

#### *Artwork*

##### Electronic artwork

##### General points

- Make sure you use uniform lettering and sizing of your original artwork.
- Embed the used fonts if the application provides that option.
- Aim to use the following fonts in your illustrations: Arial, Courier, Times New Roman, Symbol, or use fonts that look similar.
- Number the illustrations according to their sequence in the text.
- Use a logical naming convention for your artwork files.
- Provide captions to illustrations separately.
- Size the illustrations close to the desired dimensions of the printed version.
- Submit each illustration as a separate file.

A detailed guide on electronic artwork is available on our website:

<http://www.elsevier.com/artworkinstructions>

**You are urged to visit this site; some excerpts from the detailed information are given here.**

#### Formats

If your electronic artwork is created in a Microsoft Office application (Word, PowerPoint, Excel) then please supply 'as is' in the native document format. Regardless of the application used other than Microsoft Office, when your electronic artwork is finalized, please 'Save as' or convert the images to one of the following formats (note the resolution requirements for line drawings, halftones, and line/halftone combinations given below):  
EPS (or PDF): Vector drawings, embed all used fonts.

TIFF (or JPEG): Color or grayscale photographs (halftones), keep to a minimum of 300 dpi.

TIFF (or JPEG): Bitmapped (pure black & white pixels) line drawings, keep to a minimum of 1000 dpi.

TIFF (or JPEG): Combinations bitmapped line/half-tone (color or grayscale), keep to a minimum of 500 dpi.

**Please do not:**

- Supply files that are optimized for screen use (e.g., GIF, BMP, PICT, WPG); these typically have a low number of pixels and limited set of colors;
- Supply files that are too low in resolution;
- Submit graphics that are disproportionately large for the content.

Color art work

Please make sure that artwork files are in an acceptable format (TIFF (or JPEG), EPS (or PDF), or MS Office files) and with the correct resolution. If, together with your accepted article, you submit usable color figures then Elsevier will ensure, at no additional charge, that these figures will appear in color on the Web (e.g., ScienceDirect and other sites) regardless of whether or not these illustrations are reproduced in color in the printed version. For color reproduction in print, you will receive information regarding the costs from Elsevier after receipt of your accepted article. Please indicate your preference for color: in print or on the Web only. For further information on the preparation of electronic artwork, please see <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Please note: Because of technical complications which can arise by converting color figures to 'gray scale' (for the printed version should you not opt for color in print) please submit in addition usable black and white versions of all the color illustrations.

Figure captions

Ensure that each illustration has a caption. Supply captions separately, not attached to the figure. A caption should comprise a brief title (not on the figure itself) and a description of the illustration. Keep text in the illustrations themselves to a minimum but explain all symbols and abbreviations used.

*Tables*

Number tables consecutively in accordance with their appearance in the text. Place footnotes to tables below the table body and indicate them with superscript lowercase letters. Avoid vertical rules. Be sparing in the use of tables and ensure that the data presented in tables do not duplicate results described elsewhere in the article.

*References*



### Citation in text

Please ensure that every reference cited in the text is also present in the reference list (and vice versa). Any references cited in the abstract must be given in full. Unpublished results and personal communications are not recommended in the reference list, but may be mentioned in the text. If these references are included in the reference list they should follow the standard reference style of the journal and should include a substitution of the publication date with either 'Unpublished results' or 'Personal communication'. Citation of a reference as 'in press' implies that the item has been accepted for publication.

### Reference links

Increased discoverability of research and high quality peer review are ensured by online links to the sources cited. In order to allow us to create links to abstracting and indexing services, such as Scopus, CrossRef and PubMed, please ensure that data provided in the references are correct. Please note that incorrect surnames, journal/book titles, publication year and pagination may prevent link creation. When copying references, please be careful as they may already contain errors. Use of the DOI is encouraged.

### Web references

As a minimum, the full URL should be given and the date when the reference was last accessed. Any further information, if known (DOI, author names, dates, reference to a source publication, etc.), should also be given. Web references can be listed separately (e.g., after the reference list) under a different heading if desired, or can be included in the reference list.

### References in a special issue

Please ensure that the words 'this issue' are added to any references in the list (and any citations in the text) to other articles in the same Special Issue.

### Reference management software

This journal has standard templates available in key reference management packages EndNote (<http://www.endnote.com/support/enstyles.asp>) and Reference Manager (<http://refman.com/support/rmstyles.asp>). Using plug-ins to wordprocessing packages, authors only need to select the appropriate journal template when preparing their article and the list of references and citations to these will be formatted according to the journal style which is described below.

### Reference formatting

There are no strict requirements on reference formatting at submission. References can be in any style or format as long as the style is consistent. Where applicable, author(s) name(s), journal title/book title, chapter title/article title, year of publication, volume

number/book chapter and the pagination must be present. Use of DOI is highly encouraged. The reference style used by the journal will be applied to the accepted article by Elsevier at the proof stage. Note that missing data will be highlighted at proof stage for the author to correct. If you do wish to format the references yourself they should be arranged according to the following examples:

#### Reference style

Text: All citations in the text should refer to:

1. Single author: the author's name (without initials, unless there is ambiguity) and the year of publication;
2. Two authors: both authors' names and the year of publication;
3. Three or more authors: first author's name followed by 'et al.' and the year of publication.

Citations may be made directly (or parenthetically). Groups of references should be listed first alphabetically, then chronologically.

Examples: 'as demonstrated (Allan, 2000a, 2000b, 1999; Allan and Jones, 1999). Kramer et al. (2010) have recently shown ....'

List: References should be arranged first alphabetically and then further sorted chronologically if necessary. More than one reference from the same author(s) in the same year must be identified by the letters 'a', 'b', 'c', etc., placed after the year of publication.

Examples:

Reference to a journal publication:

Van der Geer, J., Hanraads, J.A.J., Lupton, R.A., 2010. The art of writing a scientific article. *J. Sci. Commun.* 163, 51–59.

Reference to a book:

Strunk Jr., W., White, E.B., 2000. *The Elements of Style*, fourth ed. Longman, New York.

Reference to a chapter in an edited book:

Mettam, G.R., Adams, L.B., 2009. How to prepare an electronic version of your article, in: Jones, B.S., Smith, R.Z. (Eds.), *Introduction to the Electronic Age*. E-Publishing Inc., New York, pp. 281–304.

Journal abbreviations source

Journal names should be abbreviated according to the List of title word abbreviations:

<http://www.issn.org/2-22661-LTWA-online.php>.

#### *Video data*

Elsevier accepts video material and animation sequences to support and enhance your scientific research. Authors who have video or animation files that they wish to submit with

their article are strongly encouraged to include links to these within the body of the article. This can be done in the same way as a figure or table by referring to the video or animation content and noting in the body text where it should be placed. All submitted files should be properly labeled so that they directly relate to the video file's content. In order to ensure that your video or animation material is directly usable, please provide the files in one of our recommended file formats with a preferred maximum size of 50 MB. Video and animation files supplied will be published online in the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. Please supply 'stills' with your files: you can choose any frame from the video or animation or make a separate image. These will be used instead of standard icons and will personalize the link to your video data. For more detailed instructions please visit our video instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Note: since video and animation cannot be embedded in the print version of the journal, please provide text for both the electronic and the print version for the portions of the article that refer to this content.

#### *AudioSlides*

The journal encourages authors to create an AudioSlides presentation with their published article. AudioSlides are brief, webinar-style presentations that are shown next to the online article on ScienceDirect. This gives authors the opportunity to summarize their research in their own words and to help readers understand what the paper is about. More information and examples are available at <http://www.elsevier.com/audioslides>. Authors of this journal will automatically receive an invitation e-mail to create an AudioSlides presentation after acceptance of their paper.

#### *Supplementary data*

Elsevier accepts electronic supplementary material to support and enhance your scientific research. Supplementary files offer the author additional possibilities to publish supporting applications, high resolution images, background datasets, sound clips and more. Supplementary files supplied will be published online alongside the electronic version of your article in Elsevier Web products, including ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>. In order to ensure that your submitted material is directly usable, please provide the data in one of our recommended file formats. Authors should submit the material in electronic format together with the article and supply a concise and descriptive caption for each file. For more detailed instructions please visit our artwork instruction pages at <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>.

#### *Data at PANGAEA*

Electronic archiving of supplementary data enables readers to replicate, verify and build upon the conclusions published in your paper. We recommend that data should be deposited in the data library PANGAEA (<http://www.pangaea.de>). Data are quality controlled and archived by an editor in standard machine-readable formats and are available via Open Access. After processing, the author receives an identifier (DOI) linking to the supplements for checking. As your data sets will be citable you might want to refer to them in your article. In any case, data supplements and the article will be automatically linked as in the following example: doi:10.1016/0016-7037(95)00105-9. Please use PANGAEA's web interface to submit your data (<http://www.pangaea.de/submit/>).

#### *Submission checklist*

The following list will be useful during the final checking of an article prior to sending it to the journal for review. Please consult this Guide for Authors for further details of any item. Ensure that the following items are present:

One author has been designated as the corresponding author with contact details:

- E-mail address
- Full postal address
- Phone numbers

All necessary files have been uploaded, and contain:

- Keywords
- All figure captions
- All tables (including title, description, footnotes)

Further considerations

- Manuscript has been 'spell-checked' and 'grammar-checked'
- References are in the correct format for this journal
- All references mentioned in the Reference list are cited in the text, and vice versa
- Permission has been obtained for use of copyrighted material from other sources (including the Web)
- Color figures are clearly marked as being intended for color reproduction on the Web (free of charge) and in print, or to be reproduced in color on the Web (free of charge) and in black-and-white in print
- If only color on the Web is required, black-and-white versions of the figures are also supplied for printing purposes

For any further information please visit our customer support site at <http://support.elsevier.com>.

#### AFTER ACCEPTANCE

##### *Use of the Digital Object Identifier*

The Digital Object Identifier (DOI) may be used to cite and link to electronic documents. The DOI consists of a unique alpha-numeric character string which is assigned to a document by the publisher upon the initial electronic publication. The assigned DOI never changes. Therefore, it is an ideal medium for citing a document, particularly 'Articles in press' because they have not yet received their full bibliographic information. Example of a correctly given DOI (in URL format; here an article in the journal Physics Letters B): <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2010.09.059>. When you use a DOI to create links to documents on the web, the DOIs are guaranteed never to change.

##### *Online proof correction*

Corresponding authors will receive an e-mail with a link to our ProofCentral system, allowing annotation and correction of proofs online. The environment is similar to MS Word: in addition to editing text, you can also comment on figures/tables and answer questions from the Copy Editor. Web-based proofing provides a faster and less error-prone process by allowing you to directly type your corrections, eliminating the potential introduction of errors. If preferred, you can still choose to annotate and upload your edits on the PDF version. All instructions for proofing will be given in the e-mail we send to authors, including alternative methods to the online version and PDF. We will do everything possible to get your article published quickly and accurately - please upload all of your corrections within 48 hours. It is important to ensure that all corrections are sent back to us in one communication. Please check carefully before replying, as inclusion of any subsequent corrections cannot be guaranteed. Proofreading is solely your responsibility. Note that Elsevier may proceed with the publication of your article if no response is received.

##### *Offprints*

The corresponding author, at no cost, will be provided with a PDF file of the article via email (the PDF file is a watermarked version of the published article and includes a cover sheet with the journal cover image and a disclaimer outlining the terms and conditions of use). For an extra charge, paper offprints can be ordered via the offprint order form which is sent once the article is accepted for publication. Both corresponding and co-authors may order offprints at any time via Elsevier's WebShop

(<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints>). Authors requiring printed copies of multiple articles may use Elsevier WebShop's 'Create Your Own Book' service to collate multiple articles within a single cover (<http://webshop.elsevier.com/myarticleservices/offprints/myarticlesservices/booklets>).

#### AUTHOR INQUIRIES

For inquiries relating to the submission of articles (including electronic submission) please visit this journal's homepage. For detailed instructions on the preparation of electronic artwork, please visit <http://www.elsevier.com/artworkinstructions>. Contact details for questions arising after acceptance of an article, especially those relating to proofs, will be provided by the publisher. You can track accepted articles at <http://www.elsevier.com/trackarticle>. You can also check our Author FAQs at <http://www.elsevier.com/authorFAQ> and/or contact Customer Support via <http://support.elsevier.com>.

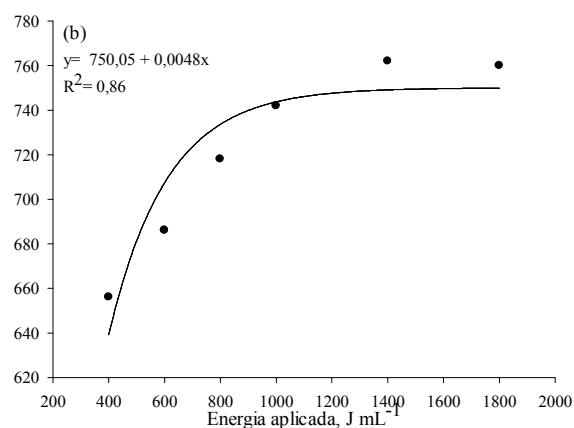
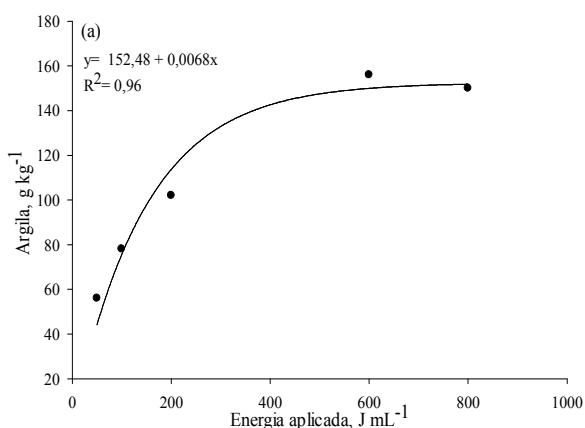
## **10 APÊNDICES**

Apêndice A. Obtenção das curvas de dispersão para o fracionamento físico da matéria orgânica.

Procedimento:

- a) Pesar 20 g de solo seco ao ar e passado em peneira com malha de 2,0 mm;
- b) Adicionar o solo e 70 mL de água destilada em snap-cap de plástico;
- c) Determinar as quantidades de energia ( $\text{J mL}^{-1}$ ) que serão aplicadas em cada ponto da curva;
- d) Determinar a densidade de partícula do solo e acrescentar o volume ocupado pelo solo no cálculo da energia total a ser aplicada;
- e) Sonicar as amostras em ultrassom até atingir a energia calculada para cada ponto da curva;
- f) Colocar as amostras sonicadas em provetas de 1 L e completar o volume com água destilada;
- g) Deixar decantar segundo Lei de Stokes;
- h) Coletar 25 ml do sobrenadante e colocar em Becker previamente seco e pesado;
- i) Secar a  $105^{\circ}\text{C}$  e pesar novamente;
- j) Obter a curva de dispersão utilizando-se os teores de argila (eixo y) e a energia aplicada em cada ponto (eixo x);
- k) A energia para a dispersão de 99% da argila da amostra é calculada pela seguinte fórmula:  

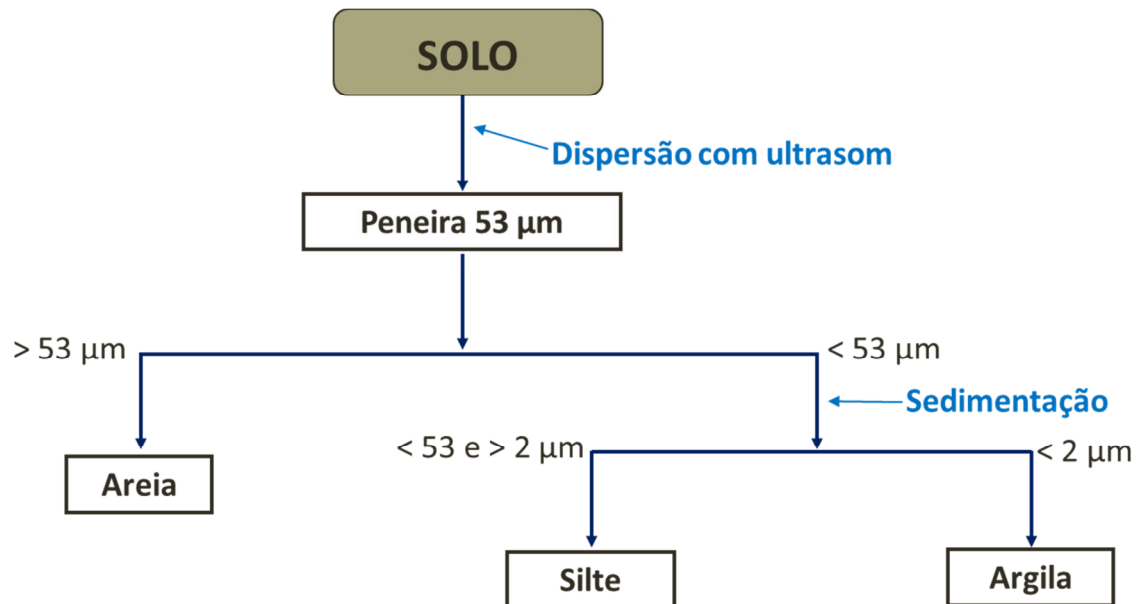
$$J/\text{mL} = (\ln 0,01)/-b$$



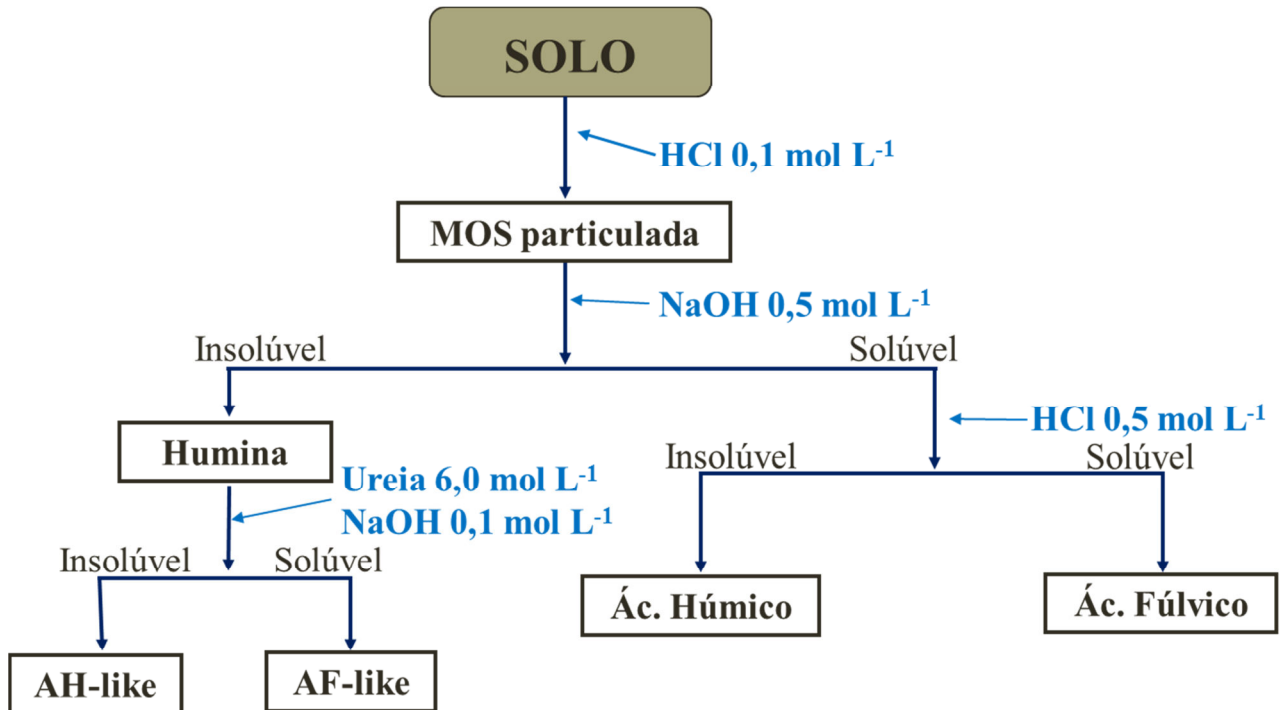
Curvas de dispersão obtidas para o Argissolo (a) e Latossolo (b).



Apêndice B. Fluxograma do procedimento adotado para o fracionamento físico granulométrico da matéria orgânica do solo (Roscoe e Machado, 2002).



Apêndice C. Fluxograma do procedimento adotado para o fracionamento químico da matéria orgânica do solo (Almeida et al., 2012).



## Apêndice D. Teor de umidade e cinzas obtidos para os ácidos húmicos dos solos estudados.

Tratamento	Prof., cm	Umidade	Cinzas
		%	
Argissolo			
Controle	0-4	9,63	21,31
Controle	4-8	7,49	25,00
Controle	8-12	5,26	20,30
Controle	12-16	6,65	21,07
Controle	16-20	7,54	24,45
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	0-4	10,51	14,22
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	4-8	9,13	15,83
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	8-12	8,73	17,28
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	12-16	6,75	25,23
40 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	16-20	5,59	28,97
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	0-4	6,32	14,11
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	4-8	1,99	7,11
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	8-12	4,53	10,61
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	12-16	6,18	17,55
80 m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> DLS	16-20	6,10	15,16
Latossolo			
Controle	0-4	4,24	34,16
Controle	4-8	5,47	45,45
Controle	8-12	5,79	44,08
Controle	12-16	4,67	55,96
Controle	16-20	4,56	49,35
8 t ha <sup>-1</sup> CDS	0-4	6,84	27,46
8 t ha <sup>-1</sup> CDS	4-8	6,81	39,46
8 t ha <sup>-1</sup> CDS	8-12	5,02	42,28
8 t ha <sup>-1</sup> CDS	12-16	5,26	52,88
8 t ha <sup>-1</sup> CDS	16-20	4,20	57,24
16 t ha <sup>-1</sup> CDS	0-4	6,34	20,12
16 t ha <sup>-1</sup> CDS	4-8	5,80	38,85
16 t ha <sup>-1</sup> CDS	8-12	4,48	49,39
16 t ha <sup>-1</sup> CDS	12-16	5,47	45,88
16 t ha <sup>-1</sup> CDS	16-20	4,44	52,53
NPK	0-4	8,32	33,33
NPK	4-8	5,52	37,88
NPK	8-12	5,10	46,22
NPK	12-16	6,47	46,96
NPK	16-20	4,01	50,31

DLS= Dejeito líquido de suínos;

CDS= compostagem de maravalha com DLS.

Apêndice E. Extração de fósforo disponível do solo por Mehlich I (Tedesco et al., 1995).

### **Soluções**

Mehlich I: Adicionar 8,10 ml de HCl concentrado e 1,40 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado em Becker de 1000 ml contendo 800 ml de H<sub>2</sub>O destilada. Transferir para balão volumétrico de 2000 ml e completar o volume.

### **Procedimento de análise**

- a) Pesar 1 g de solo para tubo de centrífuga com tampa rosca;
- b) Adicionar 10 ml de solução extratora;
- c) Agitar por 5 minutos em agitador horizontal;
- d) Deixar em repouso por 16 horas;
- e) Centrifugar à 2500 rpm por 4 minutos;
- i) Determinar fósforo conforme apêndice H.

Apêndice F. Extração de fósforo da solução escoada com HCl 0,11 mol L<sup>-1</sup>.

### **Soluções**

HCl 0,11 mol L<sup>-1</sup>: Adicionar 9,2 mL de HCl concentrado em Becker de 1000 ml contendo 700 ml de H<sub>2</sub>O destilada. Transferir para balão de 1000 ml e completar o volume.

### **Procedimento de análise**

- a) Adicionar 50 mL de solução escoada em snap-cap de vidro com capacidade de 100 mL;
- b) Adicionar 1 mL de solução de HCl 0,11 mol L<sup>-1</sup>;
- c) Agitar por 10 minutos em agitador horizontal intermitente;
- d) Deixar em repouso por 16 horas;
- e) Determinar fósforo conforme apêndice H.

Apêndice G. Fósforo total na solução escoada (Brookes e Polwson, 1982).

### **Soluções**

Solução  $MgCl_2$  saturado: Adicionar  $MgCl_2$  em  $H_2O$  destilada até a saturação da solução.

$H_2SO_4$  concentrado.

$H_2O_2$  concentrado.

### **Procedimento de análise**

- a) Adicionar uma alíquota de 15 mL de solução escoada em tubos de digestão;
- b) Adicionar 1 mL de  $MgCl_2$  saturado e 3 mL de ácido sulfúrico concentrado;
- c) Aquecer á 110°C por 1 hora e 30 minutos;
- d) Adicionar 1 mL de peróxido de hidrogênio e manter por 2 horas á 130°C;
- e) Ajustar o volume para 25 mL;
- f) Determinar fósforo conforme apêndice H.

Apêndice H. Determinação de fósforo em extratos ácidos (Murphy & Riley, 1977).

### **Soluções**

Solução A: Dissolver 15,35g de  $(\text{NH}_4)\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$  com 200 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 500 ml. Dissolver 0,3511g de  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{O}_6 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  com 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 200 ml. Colocar 300 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em becker de 1000 ml e adicionar lentamente 178ml de ácido sulfúrico concentrado. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml, adicionar as soluções de molibdato de amônio e antimoniato de potássio e ajustar o volume com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada.

Solução B: Dissolver 1,356g  $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6$  (ácido ascórbico) com 100 ml de solução A em balão volumétrico. Esta solução deve ser preparada no momento do uso.

$\text{NaOH } 10 \text{ mol L}^{-1}$ : Dissolver 400g de  $\text{NaOH}$  em 600 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em Becker de 1000 ml. Após esfriar, transferir para balão volumétrico de 1000 ml e ajustar o volume com  $\text{H}_2\text{O}$  destilada. Armazenar em frasco plástico.

p-nitrofenol 0,25%: Pesar 0,25 g de p-nitrofenol e dissolver em 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada em balão volumétrico. Armazenar em geladeira em frasco escuro.

### **Procedimento de análise**

- a) Pipetar uma alíquota do extrato para copo de cafezinho;
- b) Adicionar  $\text{H}_2\text{O}$  destilada para atingir volume de 3 ml;
- c) Adicionar uma gota de p-nitrofenol 0,25%;
- d) Neutralizar a solução com  $\text{NaOH } 10 \text{ mol L}^{-1}$ ;
- e) Adicionar 0,5 ml de solução B;
- f) Ler a absorvância em 882 nm após 30 minutos.