

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

**ATRIBUTOS QUÍMICOS APÓS DEZENOVE
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM
ARGISSOLO SOB PLANTIO DIRETO**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Cledimar Rogério Lourenzi

Santa Maria, RS, Brasil

2010

**ATRIBUTOS QUÍMICOS APÓS DEZENOVE
APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM
ARGISSOLO SOB PLANTIO DIRETO**

por

Cledimar Rogério Lourenzi

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado 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
Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Ceretta

Santa Maria, RS, Brasil

2010

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ATRIBUTOS QUÍMICOS APÓS DEZENOVE APLICAÇÕES DE
DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM ARGISSOLO SOB PLANTIO
DIRETO**

elaborada por
Cledimar Rogério Lourenzi

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

Comissão examinadora:

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

**Prof. Dr. Leandro Souza da Silva
(Co-Orientador) – CCR – UFSM**

**Prof. Dr. Celso Aita
CCR – UFSM**

**Dr. Juliano Corulli Correa
EMBRAPA – CNPSA**

Santa Maria, 27 de setembro de 2010.

À Angelize, minha esposa, com quem tenho dividido minhas alegrias, expectativas e apreensões nos últimos anos. Sem você não conseguiria dar tantos passos importantes em minha vida. Obrigado por caminhar sempre a meu lado. Amo Você!

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

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

Em especial, 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.

Ao professor Leandro Souza da Silva pela orientação e pela ajuda, contribuindo para a realização deste trabalho.

Ao Doutorando Eduardo Giroto, pela ajuda na execução do trabalho e, principalmente, pela amizade e exemplo de dedicação e competência.

Ao professor Gustavo Brunetto pela colaboração e participação na realização deste trabalho. Mesmo estando longe sempre se mostrou disposto a ajudar.

Ao Pós-Doutorando Gustavo Trentin, pela ajuda no trabalho, principalmente na parte estatística.

Ao meu conterrâneo Felipe, atualmente mestrando, que ajudou muito na execução do trabalho.

Aos bolsistas de iniciação científica Tadeu e Lessandro pelo auxílio na execução das coletas e análises laboratoriais.

Ao Alcione pela amizade e conhecimentos compartilhados.

Aos colegas de pós-graduação pelas conversas e parceria.

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 Dalmolin, Jean Minella, Dalvan J. Reinert, José Miguel Reichert, Zaida Antonioli, Fabrício 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 Tarcísio, antigo secretário, e ao Héverton, atual secretário do curso de Pós-graduação, pela dedicação e pela competência com que realizam seu trabalho.

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

A CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

RESUMO

Dissertação de Mestrado

Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo

Universidade Federal de Santa Maria

ATRIBUTOS QUÍMICOS APÓS DEZENOVE APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS EM ARGISSOLO SOB PLANTIO DIRETO

Autor: Cledimar Rogério Lourenzi

Orientador: Carlos Alberto Ceretta

Data: Santa Maria, 27 de setembro de 2010.

A utilização de dejetos líquidos de suínos como fonte de nutrientes pode afetar as condições de acidez e de disponibilidade de nutrientes, modificando o ambiente para o desenvolvimento das culturas. O objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo após 95 meses de cultivo e 19 aplicações de dejetos líquidos de suínos, conduzido sob sistema de plantio direto. O experimento foi instalado em maio de 2000, numa área experimental sob sistema de plantio direto na Universidade Federal de Santa Maria, e conduzido até janeiro de 2008. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições. Foram realizadas dezenove aplicações superficiais de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, durante a condução do experimento e, ao final, foram coletadas amostras do solo nas camadas de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm de profundidade. O solo foi coletado com o auxílio de uma pá-de-corte, seco ao ar, moído manualmente com o auxílio de um rolo destorroador e passado em peneira com malha de 2 mm e reservado. Foram determinados os valores de pH em água (1:1), índice SMP, os teores trocáveis de Al, Ca, Mg e K. Com os dados obtidos foram calculadas a soma de bases, saturação por bases e por Al, CTC pH_{7,0}, CTC efetiva e acidez potencial (H+Al). Também foram determinados os teores totais de N, P e K, os teores de N mineral, P disponível e matéria orgânica do solo. A aplicação sucessiva de dejetos líquidos de suínos promoveu incremento nos valores de pH em água do solo até 8 cm, no entanto, não houve alteração nos valores de acidez potencial. Também provocou aumento nos teores trocáveis de Ca e Mg nas camadas superficiais do solo, refletindo em aumento nos valores de soma de bases, saturação por bases e diminuindo a saturação por alumínio. Além disso, as aplicações ao longo do tempo promoveram aumento nos teores de matéria orgânica do solo, até 60 cm de profundidade, refletindo em aumento nos teores de N total até a profundidade de 30 cm. As aplicações de dejetos provocaram incremento nos teores de P disponível e K trocável até a profundidade de 60 cm, enquanto que para o P total os incrementos foram observados até 30 cm de profundidade. As alterações observadas 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. No entanto, deve-se tomar cuidado ao extrapolar esses resultados para solos com características diferentes, embora os fenômenos se assemelhem, estes ocorrem em magnitudes diferentes dependendo das características do solo.

Palavras-chaves: adubação orgânica, acidez do solo, acúmulo de nutrientes.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Soil Science
Federal University of Santa Maria

CHEMICAL ATTRIBUTES AFTER NINETEEN APPLICATIONS OF PIG SLURRY IN ALFISOL UNDER NO TILLAGE

Author: Cledimar Rogério Lourenzi

Advisor: Carlos Alberto Ceretta

Date: Santa Maria, 09-27-2010

The use of pig slurry as a source of nutrients can affect the conditions of acidity and nutrient availability, altering the environment for crop development. The objective of this study was to evaluate changes in chemical properties of an Alfisol after 95 months of cultivation and 19 applications of pig slurry, conducted under no-tillage system. The experiment was installed in May 2000, an experimental area under no-tillage at the Federal University of Santa Maria, and conducted until January 2008. The experimental design was a randomized block design with three replications. Were performed nineteen surface applications of 0, 20, 40 and 80 m³ ha⁻¹ of pig slurry during the experiment and in the end, were collected samples of soil layers of 0-2, 2-4, 4 -6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 and 50-60 cm depth. The soil was collected with the aid of a spade cut-off, air dried, milled manually with the aid of a roller and passed through a sieve with 2 mm mesh and reserved. It was determined the pH values in water (1:1), SMP, the levels of exchangeable Al, Ca, Mg and K. With the data obtained were calculated the sum of bases, base saturation and Al saturation, CEC pH7, CEC effective and potential acidity (H + Al). Were also determined the total contents of N, P and K, levels of mineral N, available P and soil organic matter. The successive application of pig slurry promoted increase in pH values in water up to 8 cm of soil, however, no change in potential acidity. Also caused increased levels of exchangeable Ca and Mg in the surface layers of soil, reflecting an increase in the values of sum of bases, base saturation and decreasing Al saturation. Furthermore, the applications over time caused an increase in levels of soil organic matter, reflecting in increased levels of total N to a depth of 30 cm. Applications of manure resulted in increased levels of available P and exchangeable K to a depth of 60 cm, while for the total P increases were observed up to 30 cm depth. The changes observed in soil chemical properties provides better environment for root development of crops due to lower acidity and higher nutrient availability in soil solution. However, one must be careful in extrapolating these results to different soils, although the phenomena are similar, they occur in different magnitudes depending on soil characteristics.

Keywords: organic fertilizer, soil acidity, nutrient accumulation.

LISTA DE QUADROS

ARTIGO I

Quadro I.1. Características do dejetto líquido de suínos, quantidade de Ca e Mg aplicada antes da implantação de cada cultura e a precipitação ocorrida durante o período de condução do experimento.....	19
Quadro I.2. Valores de pH em água e H+Al em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	22
Quadro I.3. Valores de saturação por alumínio e saturação por bases em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	24
Quadro I.4. Valores de cálcio e magnésio trocáveis em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	25
Quadro I.5. Valores de matéria orgânica e CTC potencial do solo em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	27

ARTIGO II

Quadro II.1. Características do dejetto líquido de suínos e quantidade de N, P e K aplicada antes da implantação de cada cultura durante o período de condução do experimento.....	36
Quadro II.2. Valores de nitrogênio total e mineral em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	38
Quadro II.3. Valores de fósforo total e disponível extraído por Mehlich 1 em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	40
Quadro II.4. Valores de potássio total e trocável extraído por Mehlich 1 em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade total de nutrientes aplicada via dejetos líquidos de suínos durante os 95 meses de condução do experimento.	46
Tabela 2 – Valores de soma de bases em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos, sob plantio direto.	47
Tabela 3 – Valores de CTC efetiva em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos, sob plantio direto.	48
Tabela 4 – Atributos químicos de Argissolo na profundidade de 0-10 cm no momento da instalação do experimento e após 8 anos de cultivo com os tratamentos sem e com aplicação $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos (DLS).....	49
Tabela 5 – Análise textural e classes texturais nos horizontes do Argissolo na área experimental.	50
Tabela 6 – Valores de carbono orgânico total em camadas de Argissolo submetido a dezenove aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos.....	51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	12
2 ARTIGO I – ATRIBUTOS QUÍMICOS RELACIONADOS A ACIDEZ EM SOLO COM SUCESSIVAS APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS.....	15
2.1 Resumo	15
2.2 Abstract	15
2.3 Introdução	16
2.4 Material e métodos	18
2.5 Resultados e discussão.....	20
2.6 Conclusões	28
2.7 Literatura citada.....	28
3 ARTIGO II – NUTRIENTES EM PERFIL DE SOLO COM SUCESSIVAS APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS	31
3.1 Resumo	31
3.2 Abstract	31
3.3 Introdução	32
3.4 Material e métodos	34
3.5 Resultados e discussão.....	37
3.6 Conclusões	42
3.7 Literatura citada.....	43
4 DISCUSSÃO	46
5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53

1 INTRODUÇÃO GERAL

Com o crescimento da população mundial nos últimos séculos, há uma constante preocupação com a produção de alimentos. Isso tem exigido uma maior eficiência nos sistemas de produção para atender a demanda da população. Dentre as principais exigências alimentares está a proteína animal, a qual é originária, principalmente, dos setores de avicultura, bovinocultura e suinocultura. Para incrementar a produção de proteína animal no mundo, houve uma enorme evolução nos sistemas produtivos dessas atividades. No Brasil, essas transformações ocorreram, principalmente, a partir da década de 70, com a introdução de promotores de crescimento e fontes inorgânicas de minerais nas rações. Outra alteração importante foi a implementação do sistema de confinamento dos animais no processo criatório, o que determinou uma redução no número de criadores e um aumento do número de animais por unidade produtora.

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, 2009). Nessa região, a atividade suinícola é praticada, predominantemente, em pequenas propriedades rurais e o principal sistema de criação adotado caracteriza-se pelo confinamento dos animais. Nesse sistema, há a geração de grande quantidade de dejetos (SEGANFREDO, 1999), os quais necessitam ser armazenados em esterqueiras e, posteriormente, descartados. Uma das principais práticas adotada pelos produtores é a utilização dos dejetos como fertilizante em áreas agrícolas com culturas de grãos e/ou pastagens, diminuindo assim os gastos com fertilizantes industriais e sendo a principal alternativa para o descarte dos mesmos. Isso permite a reciclagem dos nutrientes na própria unidade de produção, o que é altamente desejável.

No entanto, como a atividade suinícola é desenvolvida, predominantemente, em pequenas propriedades, normalmente, há limitação de área para o descarte do dejetos e, muitas vezes, a topografia acidentada inviabiliza a aplicação mecânica do dejetos em grande parte da propriedade (SEGANFREDO & GIROTTO, 2004). Isso tem levado os produtores a realizarem aplicações sucessivas de dejetos sempre nas mesmas áreas, devido a dificuldade de viabilizar economicamente sua distribuição distante de onde é gerado.

Ao contrário dos fertilizantes minerais, que podem ser formulados para cada condição de cultura e solo, os dejetos apresentam simultaneamente, nutrientes em quantidades

desproporcionais em relação à necessidade das plantas (CQFS - RS/SC, 2004) e adsorção pelo solo (BERWANGER et al., 2008; McDOWELL et al., 2001). Essa característica é dependente da alimentação fornecida aos animais, do manejo da água e das condições de armazenamento, o que dificulta que, de fato, seja possível, na maioria das situações, adicionar ao solo as quantidades recomendadas de nutrientes, a partir de fontes orgânicas. Devido a isso, as adubações em excesso ou sucessivas com dejetos de suínos podem ocasionar alterações em atributos químicos do solo, e provocar impactos ambientais indesejáveis como a poluição das águas superficiais (CERETTA et al., 2005) e subsuperficiais (BASSO et al., 2005).

Devido a grande importância econômica e social da suinocultura no Brasil, essa atividade deve ser considerada como sistema de produção integrado entre lavoura e pecuária, e não apenas como uma unidade independente de produção. Dessa forma, a utilização do dejetos gerado dentro das unidades de produção como fonte de nutrientes às culturas, deve ser realizada considerando as concentrações de nutrientes nos dejetos, sendo a dose determinada pelo nutriente que atingir primeiro a recomendação, como preconizado pela CQFS - RS/SC (2004), permitindo incrementar a produção de alimentos e reduzir os custos com fertilizantes industrializados. Além disso, medidas como essa possibilitam reduzir os riscos de contaminação ambiental devido as perdas de nutrientes, como o nitrogênio e fósforo, por escoamento superficial (CERETTA et al., 2005) e percolação (BASSO et al., 2005). Isso tudo possibilita minimizar o impacto sobre o ambiente e viabilizar economicamente a utilização deste resíduo.

Apesar da literatura nacional e internacional apresentar trabalhos relacionados aos efeitos do dejetos no solo e também ao ambiente, como os desenvolvidos por Adeli et al., (2008), Berwanger (2008), Ceretta et al. (2003), Daudén et al. (2004), Giacomini & Aita (2008) e Sharpley et al. (2004), torna-se necessário a obtenção de informações em diferentes ambientes edafoclimáticos, principalmente em relação aos efeitos do dejetos nos atributos químicos do solo. Isso porque, as reações e alterações que ocorrem no solo são influenciadas pelas suas características químicas, físicas e biológicas, as quais variam de acordo com o tipo de solo e o ambiente onde estão inseridos. Entretanto, é fundamental que tais alterações sejam avaliadas em trabalhos de longa duração, uma vez que os efeitos, em sua maioria, são cumulativos no solo e refletem uma condição natural, onde os produtores utilizam dejetos durante muitos anos nos mesmos locais.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar as alterações nos atributos químicos de um Argissolo após oito anos de cultivo e 19 aplicações de dejetos líquido de suínos, conduzido sob sistema de plantio direto, e como essas alterações impactam na nutrição de plantas, no manejo

dos dejetos e na contaminação ambiental. Para satisfazer o objetivo proposto, foram elaboradas as seguintes hipóteses: a) aplicação sucessiva de dejetos líquidos de suínos pode provocar alterações nos índices de acidez do solo, melhorando o ambiente do solo para o desenvolvimento radicular das culturas; b) aplicação sucessiva de dejetos líquidos de suínos pode provocar acúmulo e migração de nutrientes no perfil do solo, aumentando a disponibilidade de nutrientes para as plantas.

2 ARTIGO I – ÍNDICES DE ACIDEZ EM ARGISSOLO APÓS DEZENOVE APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS SOB PLANTIO DIRETO¹

2.1 Resumo

A aplicação de dejetos, como fertilizante ao solo, pode alterar os atributos químicos e afetar as condições de acidez do solo, modificando o ambiente para o desenvolvimento das culturas. O objetivo do trabalho foi avaliar a alteração de atributos químicos relacionados à acidez em um solo submetido a aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos. O experimento foi instalado em maio de 2000, numa área experimental sob plantio direto na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), e conduzido até janeiro de 2008. Foram realizadas 19 aplicações superficiais de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, durante um período de 95 meses e, ao final, foi coletado solo nas camadas de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm. A aplicação de dejetos líquidos de suínos aumenta os valores de pH do solo, podendo o incremento atingir a profundidade de 8 cm, sem alteração nos valores de acidez potencial. Também promove acúmulo dos teores trocáveis de cálcio e magnésio nas camadas superficiais do solo, aumentando os valores de saturação por bases e diminuindo a saturação por alumínio. Com as aplicações ao longo do tempo, há aumento do teor de matéria orgânica, podendo atingir camadas em profundidade no solo, mas seu reflexo sobre a CTC potencial é menos significativo e restrito a camada superficial.

Termos para indexação: pH em água, saturação por bases, saturação por alumínio, matéria orgânica do solo, resíduos orgânicos.

2.2 Abstract

¹ Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

CHEMICAL ATTRIBUTES RELATED TO ACIDITY IN SOIL WITH SUCCESSIVE APPLICATIONS OF PIG SLURRY

The application of manure can alter the chemical attributes and affect the conditions of soil acidity, changing the environment for crop development of cultures. The objective of this study was to evaluate the change of chemical attributes related to acidity in a soil subjected to successive applications of pig slurry. The experiment was installed in May of 2000, an experimental area under no-tillage in the Federal University of Santa Maria (UFSM), and conducted until January 2008. Nineteen applications were carried in soil surface of 0, 20, 40 and 80 m³ ha⁻¹ of pig slurry, during 95 months and, in the end, was collected soil layers of 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 and 50-60 cm. The application of pig slurry increases the pH and can reach a depth of 8 cm, and no change in the amounts of potential acidity. It also promotes the accumulation of exchangeable calcium and magnesium levels in the soil surface layers, increasing the bases saturation values and decreasing the aluminum saturation. The application over time, organic matter increase and can reach deep layers in the soil, but its reflection on the CEC is less significant and restricted to the soil surface.

Index to terms: pH in water, base saturation, aluminum saturation, soil organic matter, organic waste.

2.3 Introdução

Nos Estados da região Sul do Brasil, especialmente, no Rio Grande do Sul (RS) e Santa Catarina (SC), nos últimos anos, a criação de suínos em sistema de confinamento tem aumentado e, por consequência, a produção de dejetos líquidos (Seganfredo, 1999). Esse tem sido aplicado como fonte orgânica de nutrientes em áreas cultivadas com culturas anuais e de pastagens. Porém, em geral, as doses de dejetos usadas são elevadas e frequentes e, com isso, ao longo dos anos, ocorre o acúmulo de nutrientes no solo, ultrapassando a capacidade de adsorção e a necessidade das culturas (McDowell et al., 2001; Basso, 2005; Berwanger et al., 2008). Além disso, a utilização de resíduos orgânicos como fontes de nutrientes, em altas doses, aliado ao cultivo contínuo sem revolvimento solo, em longo prazo, causa alterações

nos atributos químicos do solo relacionados à acidez (Ceretta et al, 2003). Assim, o manejo da calagem, principalmente no que se refere à tomada de decisão da necessidade de aplicação ou da dose a ser aplicada, pode ser alterada em um solo com sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos.

Em solos ácidos, a aplicação de esterco bovino pode causar o aumento dos valores de pH do solo (Whalen et al., 2000). Segundo esses autores, isso acontece devido à presença de CaCO_3 na dieta dos animais. Como o organismo dos animais não absorve todo o CaCO_3 presente nas rações, parte desse composto é excretada no dejetos e aplicado ao solo, aumentando os valores de pH. Além disso, os autores afirmam que o efeito do dejetos sobre o pH do solo depende da fonte de dejetos utilizada e das características do solo. Já de acordo com Eghball (2002), a aplicação de resíduos orgânicos no solo pode alterar os valores de pH do solo, sendo que essa alteração depende do pH inicial do solo no momento da aplicação. Os compostos orgânicos presentes no dejetos de suínos também apresentam grande importância nas reações químicas que ocorrem no solo, principalmente, nas camadas superficiais, resultando em redução da toxicidade de alumínio e de metais pesados, como cobre e o zinco, que se encontram em altas concentrações no dejetos de suínos (Giroto, 2007; Brown et al., 2008). A complexação do alumínio trocável e a consequente redução na saturação por alumínio foi observada por Ceretta et al. (2003) em trabalho realizado com aplicação de 0, 20 e 40 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos sobre pastagem natural em um Alissolo Crômico, classificado atualmente como Argissolo Bruno-Acinzentado, de acordo com Embrapa (2006). Segundo os autores, esse efeito é devido, principalmente, à ação das frações ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica, que são muito reativos e aumentam significativamente no solo com adições de altas quantidades de carbono.

A concentração de nutrientes nos dejetos é desbalanceada em relação à necessidade das culturas (Seganfredo, 1999; Berwanger, 2008). Isso implica, muitas vezes, na adição de quantidades de nutrientes acima daquela exigida pelas plantas. Dentre esses nutrientes estão o Ca e o Mg que quando adicionados em grandes quantidades, acumulam no solo e afetam os atributos químicos relacionados à acidez, como a saturação por bases. A matéria orgânica do solo também sofre alteração em solos com aplicação de dejetos de suínos. Além dos compostos orgânicos presentes no dejetos, a maior produção de matéria seca pelas culturas que recebem a aplicação de dejetos contribui para um maior acúmulo de matéria orgânica. Adeli et al. (2008), estudando as alterações dos atributos químicos em três tipos de solo com aplicação de dejetos de suínos durante 15 anos, observaram incremento nos teores de matéria orgânica até a profundidade de 15 cm em ambos os solos. Uma das principais características da matéria

orgânica no solo é ser fonte de nutriente às plantas, especialmente, de nitrogênio, enxofre e fósforo, quando mineralizada. Além disso, a matéria orgânica apresenta cargas elétricas de superfície que afetam os atributos químicos, como a CTC do solo e por consequência, as saturações por alumínio e de bases.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a alteração de atributos químicos relacionados à acidez do solo em um solo submetido a aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos e conduzido sob sistema plantio direto.

2.4 Material e métodos

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria (RS). O solo foi um Argissolo Vermelho Distrófico arênico (Embrapa, 2006), com textura franco arenosa e localizado em um relevo com declividade de 4%. A área era mantida há oito anos sob o sistema de cultivo plantio direto até março de 2000, onde os atributos químicos do solo, na camada de 0-10 cm foram: teores de argila 170 g kg⁻¹; silte 300 g kg⁻¹; areia 530 g kg⁻¹; pH em água 4,7; H+Al 5,6 cmol_c dm⁻³; saturação por alumínio 17%; saturação por bases 42%; Ca trocável 2,7 cmol_c dm⁻³; Mg trocável 1,1 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica 16 g dm⁻³ e CTC_{pH7} 9,6 cmol_c dm⁻³.

Em maio de 2000 foram aplicadas as doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos. Essas doses foram aplicadas 19 vezes ao longo da condução do experimento. O dejetos era proveniente de esterqueiras ao ar livre, pertencentes a propriedades rurais da região da Depressão Central do RS. As características dos dejetos aplicados antes da implantação de cada cultura e as quantidades de nutrientes adicionadas são apresentadas no quadro I.1.

O dejetos foi aplicado manualmente, a lanço, sobre os resíduos vegetais da cultura anterior e antes da implantação de cada cultura da sucessão, sendo essa a única fonte de nutriente às culturas. As parcelas foram de 4 m x 3 m, totalizando 12 m² cada parcela. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições.

Quadro I.1. Características do dejetto líquido de suínos, quantidade de Ca e Mg aplicada antes da implantação de cada cultura e a precipitação ocorrida durante o período de condução do experimento.

Características do dejetto	Quantidade de nutriente aplicada antes de cada cultura											
	Primeiro ano agrícola (00/01)											
Precipitação, mm	Aveia preta			Milho				Nabo Forrageiro				
Matéria seca, %	732,9			694,0				506,0				
	1,9			9,9				0,80				
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	3,40	12,6	25,2	50,4	1,80	35,8	71,6	143,2	3,00	2,9	5,8	11,5
Magnésio total ⁽¹⁾	1,30	4,9	9,7	19,4	1,40	27,8	55,6	111,2	2,40	2,2	4,5	8,9
Segundo ano agrícola (01/02)												
Precipitação, mm	Aveia preta			Milho				Nabo Forrageiro				
Matéria seca, %	720,9			568,1				501,7				
	1,1			3,7				1,2				
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	2,80	6,2	12,4	24,8	2,90	21,5	42,9	85,8	1,90	4,6	9,1	18,2
Magnésio total ⁽¹⁾	1,30	2,9	5,8	13,2	1,30	9,6	19,2	38,4	1,20	2,9	5,8	11,5
Terceiro ano agrícola (02/03)												
Precipitação, mm	Aveia preta			Milheto				Feijão Preto				
Matéria seca, %	1096,5			518,6				895,1				
	0,47			6,68				4,82				
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	4,40	4,2	8,4	16,8	1,27	17,0	34,0	68,0	2,10	20,2	40,4	80,8
Magnésio total ⁽¹⁾	0,96	0,9	1,8	3,6	1,19	15,9	31,8	63,6	2,08	20,0	40,0	80,0
Quarto ano agrícola (03/04)												
Precipitação, mm	Aveia preta + Ervilhaca			Milho								
Matéria seca, %	551,3			847,0								
	2,37			2,07								
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	1,91	9,0	18,0	36,0	1,40	5,8	11,6	23,2				
Magnésio total ⁽¹⁾	3,27	15,5	31,0	62,0	2,67	11,0	22,0	44,0				
Quinto ano agrícola (04/05)												
Precipitação, mm	Aveia preta + Ervilhaca			Milho								
Matéria seca, %	386,4			737,7								
	1,0			7,2								
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	1,84	3,7	7,4	14,8	3,50	50,4	100,8	201,6				
Magnésio total ⁽¹⁾	3,37	6,7	13,4	26,8	2,94	42,3	84,6	169,2				
Sexto ano agrícola (05/06)												
Precipitação, mm	Aveia preta			Feijão preto				Crotalária				
Matéria seca, %	533,2			366,9				242,6				
	6,8			8,9				12,14				
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	1,32	18,0	36,0	72,0	1,45	25,8	51,6	103,2	1,31	31,8	63,6	127,2
Magnésio total ⁽¹⁾	2,35	32,0	64,0	128,0	1,50	26,7	53,4	106,8	2,00	48,6	97,2	194,4
Sétimo ano agrícola (06/07)												
Precipitação, mm	Aveia preta			Milho				Aveia preta				
Matéria seca, %	481,6			828,3				564,5				
	9,94			1,91				3,52				
	Aplicação - kg ha ⁻¹			Aplicação - kg ha ⁻¹				Aplicação - kg ha ⁻¹				
	%	20	40	80	%	20	40	80	%	20	40	80
Cálcio total ⁽¹⁾	1,26	25,0	50,0	100,0	1,13	4,4	8,8	17,6	3,98	28,0	56,0	112,0
Magnésio total ⁽¹⁾	2,35	46,7	93,4	186,8	2,51	9,6	19,2	38,4	7,39	52,0	104,0	208,0

⁽¹⁾Análise em base seca.

No período de condução do experimento se cultivou as seguintes sucessões: aveia preta (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays L.*)/nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) no ano agrícola de 00/01 e 01/02 (Ceretta et al., 2005); aveia preta/milheto (*Pennisetum americanum L.*)/feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) em 02/03; aveia preta+ervilhaca (*Vicia sativa L.*)/milho em 03/04 e 04/05; aveia preta/feijão preto/crotalária (*Crotalaria juncea L.*) em 05/06; aveia preta/milho em 06/07 e aveia em 2007.

Em janeiro de 2008, 95 (noventa e cinco) meses após a implantação do experimento foi coletado solo nas camadas de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm de profundidade. O solo foi coletado com o auxílio de uma pá-de-corte, seco ao ar e, em seguida, moído manualmente com o auxílio de um rolo destorroador. Logo depois, o solo foi passado em peneira com malha de 2 mm e reservado. Posteriormente, foi determinado os valores de pH em água (1:1), teores trocáveis de alumínio, cálcio e magnésio, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Com os dados obtidos foi calculada a capacidade de troca de cátions potencial (CTC_{pH7}), saturação por alumínio (m), saturação por bases (V) e acidez potencial (H+Al), de acordo com as equações descritas pela CQFS-RS/SC (2004). Além disso, foram determinados os teores de carbono orgânico total (COT), de acordo com metodologia descrita pela Embrapa (1997), com adaptações para etapa de aquecimento em bloco digestor, conforme descrito por Giroto (2007). Para a obtenção dos valores de matéria orgânica do solo (MOS) os teores de carbono orgânico total foram multiplicados por 1,724 (fator de Van Bemmelen), assumindo-se que 58% da matéria orgânica dos solos consistem em carbono orgânico.

Os resultados qualitativos, entre as camadas de solo em uma mesma dose de dejetos, foram submetidos à análise de variância e, quando significativos os valores médios foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Os dados quantitativos, entre as doses de dejetos na mesma camada de solo, quando significativos, foram submetidos ao ajuste de equações.

2.5 Resultados e discussão

As sucessivas aplicações de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos provocaram alterações nos valores de pH em água, saturação por alumínio e por bases, nos

teores trocáveis de cálcio e magnésio, no teor de matéria orgânica e nos valores de CTC potencial do solo. Porém, a aplicação de dejetos não afetou os valores de acidez potencial (Quadro I.2).

As aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos promoveram aumento nos valores de pH em água no solo até a profundidade de 8 cm (Quadro I.2). Analisando cada dose individualmente, com aplicação de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ os incrementos foram mais expressivos e ocorreram até a profundidade de 25 cm. As explicações existentes na literatura para esse fenômeno são muito variadas. De acordo com Hue & Licudine (1999), a adição de resíduos orgânicos em solos ácidos pode causar aumento dos valores de pH em água do solo pela adsorção de íons H^+ nos resíduos culturais em decomposição, que fazem parte a fração não húmica da matéria orgânica do solo. Por sua vez, Chantigny et al, (2004) relatam que incrementos nos valores de pH do solo podem ser devidos a característica alcalina do dejetos de suínos e também pela dissociação de carbonatos derivados do dejetos. Além disso, as alterações nos valores de pH podem ser atribuídas as características alcalinas dos extratos vegetais das culturas, principalmente da aveia preta e nabo forrageiro, como observado por Diehl et al. (2008).

A relevância destes resultados pode ser inferida pelo fato de que a aplicação de dejetos permitiu o incremento no pH de 4,70, no momento da instalação do experimento, que é considerado muito baixo, segundo CQFS-RS/SC (2004), para valores de até 5,43, na camada superficial do solo (0-2cm), quando da aplicação de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Além disso, a recomendação de amostragem de solo no sistema plantio direto consolidado para o RS e SC é na camada de 0-10 cm e o fato de ter havido incremento no pH até 8 cm pode significar reflexos importantes na tomada de decisão sobre a necessidade de correção da acidez do solo, uma vez que o referencial neste sistema de manejo do solo é atingir pH 5,5, nesses Estados.

Entretanto, resultados de outros trabalhos realizados com o uso de dejetos líquidos de suínos mostram que em solos com valores de pH inicial entre 5,0 e 6,0 pode não haver efeito da adição de dejetos. Exemplo disso é o trabalho de Scherer et al (2007), que conduziram dois experimentos com a aplicação de 0, 40 e $115 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos, sendo um no município de Chapecó (SC), durante quatro anos, e outro em Guatambu (SC), durante três anos, ambos sobre um solo Latossolo Vermelho Distroférico típico, com valores de pH em água, no momento da instalação dos experimentos, de 5,4 e 5,2, respectivamente.

Quadro I.2. Valores de pH em água e H+Al em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	pH em água					
0-2	5,05 c ¹	5,37 a ¹	5,37 a ¹	5,43 a ¹	Y= 5,025 + 0,112x	0,72*
2-4	4,95 c	5,14 b	5,18 b	5,31 a	Y= 4,862 + 0,113x	0,93*
4-6	4,94 c	5,03 b	5,16 b	5,29 a	Y= 4,808 + 0,118x	0,99*
6-8	5,01 c	5,10 b	5,16 b	5,32 a	Y= 4,900 + 0,099x	0,96*
8-10	5,10 b	5,18 b	5,15 b	5,31 a	ns	
10-12	5,13 b	5,21 b	5,19 b	5,28 a	ns	
12-14	5,17 a	5,26 a	5,20 b	5,39 a	ns	
14-16	5,23 a	5,29 a	5,25 a	5,37 a	ns	
16-18	5,20 a	5,32 a	5,30 a	5,38 a	ns	
18-20	5,24 a	5,32 a	5,32 a	5,34 a	ns	
20-25	5,13 b	5,31 a	5,30 a	5,19 a	ns	
25-30	5,15 b	5,18 b	5,24 a	5,12 b	ns	
30-35	5,11 b	5,14 b	5,15 b	5,01 b	ns	
35-40	5,10 b	5,09 b	5,11 b	4,97 b	ns	
40-50	5,07 b	5,08 b	5,05 c	4,94 b	ns	
50-60	5,10 b	5,10 b	5,02 c	4,92 b	ns	
CV, %	1,28	2,36	1,36	1,66		
cm	H+Al (cmol _c dm ⁻³)					
0-2	5,0 b ¹	4,0 b ¹	3,9 b ¹	3,8 b ¹	ns	
2-4	5,4 b	4,8 b	4,4 b	4,3 b	ns	
4-6	5,7 b	5,2 b	4,7 b	4,4 b	ns	
6-8	5,6 b	5,3 b	4,7 b	4,8 b	ns	
8-10	5,5 b	5,6 b	4,7 b	4,5 b	ns	
10-12	5,9 b	5,6 b	4,7 b	4,6 b	ns	
12-14	5,5 b	5,4 b	5,0 b	4,8 b	ns	
14-16	5,6 b	5,9 b	5,2 b	4,8 b	ns	
16-18	6,1 b	5,9 b	4,8 b	4,9 b	ns	
18-20	6,2 b	6,3 b	4,7 b	4,9 b	ns	
20-25	6,9 b	6,4 b	5,1 b	5,1 b	ns	
25-30	7,8 a	6,3 b	5,6 b	5,3 b	ns	
30-35	7,8 a	7,1 a	6,1 a	6,0 a	ns	
35-40	8,4 a	7,0 a	6,9 a	6,1 a	ns	
40-50	8,5 a	7,6 a	7,3 a	7,0 a	ns	
50-60	8,8 a	8,3 a	7,4 a	7,1 a	ns	
CV, %	14,2	17,0	13,1	16,6		

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

Por outro lado, em solos com pH próximo da neutralidade pode haver diminuição nos valores de pH com o uso de dejetos. Isso foi observado nos Estados Unidos por Adeli et al (2008), que utilizaram dejetos líquidos de suínos em um solo com pH inicial de 6,9 e que, depois de aplicarem o dejetos durante 15 anos, o pH do solo atingiu 5,9 na camada de 0-15cm. De acordo com os autores, essa diminuição dos valores de pH do solo ao longo do tempo se deve a lixiviação de bases ao longo do perfil do solo. Numa situação oposta, Assmann et al. (2007) trabalhando em um solo Latossolo Vermelho com pH inicial de 4,52, na camada de 0-

20 cm, e aplicando duas vezes a dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos de suínos, em um período de 156 dias, observaram que o pH aumentou para 4,79. De acordo com esses trabalhos, há uma tendência de equilíbrio do pH do solo quando o mesmo recebe aplicações sucessivas de dejetos, numa faixa de aproximadamente, 5,0 e 6,0.

A saturação por alumínio diminuiu com a aplicação de dejetos líquidos de suínos até a profundidade de 20 cm (Quadro I.3). Esses resultados são relevantes, pois a aplicação de dejetos reduziu a saturação por alumínio até valores abaixo dos 10%, preconizados pela CQFS-RS/SC (2004) como não limitante para o sistema plantio direto. Além disso, essa redução atingiu profundidades maiores do que 10 cm, profundidade usada para a amostragem de solo para fins de recomendação de adubação e de calagem no sistema plantio direto. Tudo isso causa reflexos positivos para o crescimento das plantas porque significa que as raízes poderão ter um ambiente mais favorável para o seu crescimento em profundidade.

A diminuição dos valores de saturação por alumínio, motivado pelo uso de dejetos, é devido a complexação do alumínio trocável, especialmente, pelas frações ácidos fúlvicos e húmicos da matéria orgânica, que são muito reativas e aumentam significativamente no solo com adições de altas quantidades de carbono. Essa justificativa foi utilizada por Ceretta et al. (2003) depois de observarem diminuição na saturação por alumínio em Alissolo Crômico cultivado com pastagem natural e com aplicação de 0, 20 e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos, durante quatro anos.

A saturação por bases aumentou até a profundidade de 12 cm com as aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos (Quadro I.3). A meta a ser atingida em um solo sob sistema plantio direto é de $\geq 65\%$, conforme CQFS-RS/SC (2004), e isso somente foi atingido na camada 0-2 cm onde era aplicado $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos (68,5%). Esses resultados podem ser atribuídos ao aumento dos teores de matéria orgânica do solo, uma vez que contribui na adsorção de cátions no solo, bem como às adições de cálcio e magnésio com as aplicações de dejetos.

Os teores de Ca e Mg aumentaram, em média, 11, 36 e 48%, para o Ca, e 10, 32 e 58% para o Mg, até as profundidades de 16 e 20 cm, respectivamente, com a aplicação de 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos (Quadro I.4), respectivamente. Isso pode ser justificado, principalmente, pelas quantidades adicionadas de Ca e Mg nas 19 aplicações de dejetos, ao longo dos 95 meses, que foram de 327, 654 e 1307 kg ha^{-1} de Ca e 378, 756 e 1514 kg ha^{-1} de Mg para as doses de 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, respectivamente.

Quadro I.3. Valores de saturação por alumínio e saturação por bases em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
Saturação por alumínio (%)						
cm						
0-2	2,3 e ¹	1,4 e ¹	1,0 e ¹	1,0 d ¹	Y= 2,456 - 0,426x	0,82*
2-4	5,5 e	2,1 e	2,4 e	2,2 d	Y= 5,449 - 0,952x	0,55*
4-6	9,8 d	5,2 e	4,3 e	2,4 d	Y= 11,149 - 2,291x	0,90*
6-8	10,6 d	6,3 d	5,0 e	2,2 d	Y= 12,696 - 2,660x	0,96*
8-10	11,2 d	8,2 d	5,2 e	2,2 d	Y= 14,203 - 2,988x	0,99*
10-12	12,1 d	9,7 d	5,9 e	2,8 d	Y= 15,531 - 3,167x	0,99*
12-14	13,6 c	8,4 d	6,4 e	3,6 d	Y= 16,025 - 3,215x	0,96*
14-16	16,8 c	9,4 d	6,4 e	3,7 d	Y= 19,598 - 4,215x	0,93*
16-18	17,8 c	9,0 d	5,9 e	3,8 d	Y= 20,349 - 4,489x	0,89*
18-20	18,4 c	11,1 d	7,0 e	4,8 d	Y= 21,509 - 4,479x	0,94*
20-25	18,4 c	10,8 d	7,3 e	9,8 c	ns	
25-30	18,6 c	17,4 c	12,0 d	13,7 c	ns	
30-35	27,2 b	19,6 c	18,4 c	19,4 b	ns	
35-40	34,1 b	29,1 b	24,0 b	25,8 a	ns	
40-50	45,4 a	33,7 b	35,3 a	28,6 a	ns	
50-60	48,9 a	39,5 a	39,4 a	29,7 a	ns	
CV, %	22,2	28,6	26,8	31,3		
Saturação por bases (%)						
cm						
0-2	52,0 a ¹	59,8 a ¹	63,8 a ¹	68,5 a ¹	Y= 47,633 + 5,353x	0,98*
2-4	42,9 b	52,0 b	58,3 a	62,2 a	Y= 37,790 + 6,420x	0,97*
4-6	40,1 b	46,6 c	54,3 b	59,9 a	Y= 33,433 + 6,723x	0,99*
6-8	40,7 b	44,8 c	53,0 b	57,6 b	Y= 34,244 + 5,909x	0,98*
8-10	39,2 b	44,1 c	52,3 b	56,6 b	Y= 32,967 + 6,035x	0,99*
10-12	39,4 b	43,5 c	51,0 b	55,4 b	Y= 33,395 + 5,564x	0,99*
12-14	40,6 b	43,7 c	50,6 b	54,4 b	ns	
14-16	39,6 b	40,7 c	50,3 b	54,0 b	ns	
16-18	39,1 b	39,4 c	50,1 b	52,9 b	ns	
18-20	38,9 b	39,3 c	50,3 b	50,6 b	ns	
20-25	35,6 b	39,4 c	47,3 c	44,7 b	ns	
25-30	31,9 c	36,7 d	42,5 c	40,1 c	ns	
30-35	28,9 c	31,9 d	37,5 d	36,2 c	ns	
35-40	25,3 c	27,2 d	32,8 d	33,9 d	ns	
40-50	20,2 d	25,2 e	27,7 e	30,3 d	ns	
50-60	19,3 d	23,1 e	24,9 e	30,1 d	ns	
CV, %	10,0	10,5	6,9	9,0		

(¹) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

A percolação de compostos orgânicos hidrossolúveis e a manutenção dos bioporos no solo, sob sistema plantio direto, foi a justificativa utilizada por Kaminski et al. (2005) para explicar o acúmulo de Ca e Mg em profundidade no solo. Ceretta et al. (2003) encontraram aumento de 49 e 40% nos teores de Ca nas camadas de 0-2,5 e 2,5-5,0 cm, respectivamente, com a dose de 40 m³ ha⁻¹ de dejetos após 28 aplicações de dejetos líquidos de suínos, durante quatro anos, em pastagem natural. Segundo esses autores, os percentuais de acréscimo no teor de cálcio no solo são relativamente pequenos e podem ser explicados pela baixa concentração

de Ca no dejetto, pela possibilidade de formação de compostos minerais com fosfatos ou pela maior adsorção de Ca na matéria orgânica, o que dificulta a estimativa pelo extrator de KCl 1 mol L⁻¹. Em relação ao Mg, os autores encontraram incremento nos teores do nutriente até a profundidade de 20 cm, quando aplicado 40 m³ ha⁻¹ de dejetto.

Quadro I.4. Valores de cálcio e magnésio trocáveis em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetto, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Cálcio trocável (cmol _c dm ⁻³)					
0-2	2,6 a ¹	2,9 a ¹	3,6 a ¹	4,3 a ¹	Y= 1,890 + 0,587x	0,98*
2-4	2,1 b	2,6 a	3,3 b	3,6 b	Y= 1,650 + 0,500x	0,97*
4-6	2,0 b	2,3 b	3,0 c	3,3 c	Y= 1,515 + 0,450x	0,97*
6-8	2,1 b	2,2 b	2,8 c	3,1 c	Y= 1,680 + 0,355x	0,95*
8-10	2,1 b	2,3 b	2,6 c	2,9 c	Y= 1,780 + 0,282x	0,99*
10-12	2,1 b	2,3 b	2,6 c	2,8 d	Y= 1,835 + 0,242x	0,96*
12-14	2,1 b	2,2 b	2,7 c	2,7 d	Y= 1,810 + 0,251x	0,88*
14-16	2,0 b	2,2 b	2,7 c	2,7 d	Y= 1,750 + 0,258x	0,86*
16-18	2,1 b	2,0 b	2,7 c	2,5 d	ns	
18-20	2,0 b	2,0 b	2,7 c	2,6 d	ns	
20-25	2,0 b	2,1 b	2,6 c	2,2 e	ns	
25-30	1,6 c	1,8 c	2,3 d	2,0 e	ns	
30-35	1,4 c	1,7 c	2,0 e	1,9 e	ns	
35-40	1,2 d	1,4 d	1,7 e	1,6 f	ns	
40-50	1,0 d	1,2 d	1,4 f	1,5 f	ns	
50-60	0,9 d	1,1 d	1,2 f	1,6 f	ns	
CV, %	11,8	13,2	6,0	7,7		
cm	Magnésio trocável (cmol _c dm ⁻³)					
0-2	2,4 a ¹	2,6 a ¹	2,9 a ¹	3,5 a ¹	Y= 1,930 + 0,370x	0,92*
2-4	1,9 b	2,4 a	2,7 a	3,2 a	Y= 1,495 + 0,430x	0,99*
4-6	1,7 b	2,1 b	2,5 b	3,1 a	Y= 1,235 + 0,441x	0,98*
6-8	1,7 b	1,9 b	2,4 b	2,7 b	Y= 1,355 + 0,333x	0,98*
8-10	1,8 b	1,9 b	2,4 b	2,8 b	Y= 1,335 + 0,345x	0,97*
10-12	1,7 b	1,8 c	2,2 c	2,8 b	Y= 1,215 + 0,358x	0,93*
12-14	1,6 b	1,7 c	2,1 c	2,6 b	Y= 1,160 + 0,335x	0,96*
14-16	1,6 b	1,7 c	2,1 c	2,5 b	Y= 1,195 + 0,308x	0,95*
16-18	1,6 b	1,7 c	2,0 c	2,4 b	Y= 1,275 + 0,265x	0,90*
18-20	1,6 b	1,6 c	2,0 d	2,3 b	Y= 1,265 + 0,243x	0,89*
20-25	1,6 b	1,6 c	1,9 d	2,0 c	ns	
25-30	1,6 b	1,5 c	1,8 d	1,7 c	ns	
30-35	1,4 c	1,4 d	1,6 e	1,6 d	ns	
35-40	1,3 c	1,3 d	1,5 e	1,5 d	ns	
40-50	1,1 d	1,2 d	1,3 f	1,3 d	ns	
50-60	1,0 d	1,1 d	1,2 f	1,3 d	ns	
CV, %	12,4	14,0	5,4	11,4		

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

O teor de matéria orgânica do solo aumentou em média 30, 36 e 74%, até a profundidade de 60 cm, com a aplicação de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos (Quadro I.5). Isso pode ser devido à migração de compostos orgânicos de baixo peso molecular ao longo do perfil do solo, motivado pela saturação dos grupos funcionais da camada superficial do solo em decorrência da adição de altas quantidades de compostos orgânicos proveniente da aplicação de dejetos. O fato de o solo apresentar um teor de argila de 170 g kg⁻¹, silte 300 g kg⁻¹ e areia 530 g kg⁻¹ também é um aspecto que favoreceu a movimentação em profundidade de compostos orgânicos, para justificar o incremento até 60 cm. Mesmo assim, os maiores incrementos nos teores de matéria orgânica no solo ocorreram com a utilização de 80 m³ ha⁻¹ do dejetos e, principalmente, na camada 0-2 cm, onde o teor atingiu 62,5 g kg⁻¹, enquanto na área onde não foi aplicado dejetos o teor era de 27,2 g kg⁻¹. Além disso, os incrementos de MOS observados em profundidade podem ser devidos à presença de raízes até camadas mais profundas e, considerando que foram realizados 19 cultivos no período de condução do experimento, a produção de matéria seca pelas raízes nesse período foi elevada. Os efeitos em superfície podem ser justificados, por exemplo, pela afirmação de Falleiro et al. (2003), de que no sistema plantio direto ocorre a manutenção de resíduos culturais sobre a superfície do solo e isso retarda a taxa de mineralização, pelo menor contato do solo com o resíduo, favorecendo o acúmulo de matéria orgânica nas camadas mais superficiais do solo.

O aumento dos teores de matéria orgânica no solo é proporcionado pela adição de carbono, seja pelo dejetos ou pela produção de matéria seca pelas culturas. Para a estimativa da quantidade de carbono orgânico (CO) adicionado ao solo via dejetos foi utilizado 28,5% de CO na matéria seca do dejetos líquido de suínos, porque este percentual corresponde à média de trabalhos realizados por Aita et al. (2006) e Giacomini & Aita (2008), no Estado do RS, que encontraram valores entre 21,1 e 35,0% de CO na matéria seca dos dejetos líquidos de suínos. Assim, a quantidade de CO adicionado ao solo nas 19 aplicações de dejetos foi estimada em 4,93, 9,85 e 19,70 Mg ha⁻¹ nas doses de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos, respectivamente. No entanto, as maiores contribuições para o aumento da matéria orgânica do solo devem ter sido derivadas da deposição de resíduos culturais das espécies na superfície do solo, uma vez que a produção acumulada de matéria seca pelas culturas, durante os 95 meses, foi de 57,9, 92,1, 109,2 e 147,3 Mg ha⁻¹ nas doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos, respectivamente.

Um dos aspectos relevantes da matéria orgânica do solo é a sua importância nas características coloidais, afetando os atributos químicos do solo como a CTC. Entretanto, apesar do aumento no teor de matéria orgânica no solo até 60 cm de profundidade, a CTC

somente apresentou incremento com a aplicação de dejetos na camada 0-2 cm (Quadro I.5). Entretanto, ficou evidente que com a dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, a CTC potencial teve aumento até a camada 6-8 cm. Entretanto, a relevância desses resultados está no fato de que a aplicação de dejetos líquido de suínos permitiu incremento nos teores de matéria orgânica no solo e na quantidade de matéria adicionada ao solo pelas culturas e isso tem reflexos altamente positivos sobre a ciclagem de nutrientes no solo e na manutenção de sua capacidade produtiva.

Quadro I.5. Valores de matéria orgânica e CTC potencial do Argissolo em camadas de solo submetido a dezenove aplicações de doses de dejetos líquido de suínos.

Camada	Dose de dejetos, $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$				Equação de regressão	R^2
	0	20	40	80		
cm	Matéria orgânica (g kg^{-1})					
0-2	27,2 a ¹	39,0 a ¹	42,5 a ¹	62,5 a ¹	$Y = 15,380 + 10,956x$	0,93*
2-4	20,9 b	29,5 b	32,8 b	42,1 b	$Y = 14,627 + 6,676x$	0,97*
4-6	17,0 c	23,8 c	25,4 c	32,1 c	$Y = 12,827 + 4,696x$	0,95*
6-8	15,6 c	21,3 d	20,8 d	27,4 d	$Y = 12,584 + 3,487x$	0,87*
8-10	14,2 d	19,4 e	18,4 e	24,0 e	$Y = 11,881 + 2,850x$	0,82*
10-12	13,5 d	18,0 e	18,2 e	22,2 e	$Y = 11,400 + 2,623x$	0,91*
12-14	13,8 d	18,0 e	17,5 e	20,0 f	$Y = 12,857 + 1,784x$	0,82*
14-16	13,0 d	17,4 e	17,5 e	20,2 f	$Y = 11,585 + 2,175x$	0,88*
16-18	14,1 d	17,4 e	17,9 e	20,8 f	$Y = 12,368 + 2,064x$	0,94*
18-20	13,0 d	17,7 e	17,8 e	23,4 e	$Y = 10,164 + 3,123x$	0,91*
20-25	12,4 d	16,7 e	18,3 e	24,1 e	$Y = 8,707 + 3,670x$	0,96*
25-30	14,7 d	19,2 e	20,1 d	23,7 e	$Y = 12,410 + 2,802x$	0,95*
30-35	17,1 c	17,6 e	20,0 d	23,6 e	$Y = 14,060 + 2,214x$	0,91*
35-40	15,8 c	17,0 e	19,1 e	23,1 e	$Y = 12,703 + 2,415x$	0,93*
40-50	14,0 d	16,4 e	16,1 f	21,3 f	$Y = 11,505 + 2,177x$	0,82*
50-60	11,1 d	12,4 f	14,5 g	19,0 f	$Y = 7,7848 + 2,585x$	0,92*
CV, %	9,0	6,5	4,3	6,0		
cm	CTC _{pH7} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)					
0-2	10,2 ^{ns}	9,9 ^{ns}	10,7 ^{ns}	12,2 a ¹	$Y = 9,069 + 0,666x$	0,72*
2-4	9,7	10,0	10,7	11,4 a	ns	
4-6	9,5	9,8	10,2	11,1 a	ns	
6-8	9,6	9,6	9,9	10,8 a	ns	
8-10	10,0	9,9	9,7	10,4 b	ns	
10-12	9,7	9,8	9,6	10,3 b	ns	
12-14	9,2	9,5	10,0	10,3 b	ns	
14-16	9,3	9,9	10,1	10,1 b	ns	
16-18	9,8	9,6	9,6	10,0 b	ns	
18-20	9,9	10,0	9,4	9,9 b	ns	
20-25	10,5	10,1	9,7	9,4 b	ns	
25-30	11,1	9,7	9,7	9,1 b	ns	
30-35	10,6	10,2	9,7	9,5 b	ns	
35-40	11,0	9,8	10,2	9,3 b	ns	
40-50	10,5	10,1	10,0	9,8 b	ns	
50-60	10,8	10,7	9,8	10,0 b	ns	
CV, %	8,6	11,1	7,0	8,5		

(1) Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

2.6 Conclusões

1. A aplicação sucessiva de dejetos líquidos de suínos aumenta o pH em água do solo, podendo o incremento atingir a profundidade de 8 cm com 19 aplicações, sem que aconteça alteração nos valores de acidez potencial.
2. A adição de dejetos líquidos de suínos também promove acúmulo de cálcio e magnésio nas camadas superficiais do solo, aumentando os valores de saturação por bases e diminuindo a saturação por alumínio.
3. As sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos, ao longo de oito anos, promovem incremento no teor de matéria orgânica, podendo atingir camadas em profundidade no solo, mas seu reflexo sobre a CTC potencial é menos significativa e restrita a camada superficial.

2.7 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 Sci.*, 173:223-235, 2008.
- AITA, C.; CHIAPINOTTO, I. C.; GIACOMINI, S. J.; HÜBNER, A. P.; MARQUES, M. G. Decomposição de palha de aveia preta e dejetos de suínos em solo sob plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 30:149-161, 2006.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1515-1523, 2007.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTI, E. Dejetos líquidos de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35:1305-1312, 2005.

- BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2525-2532, 2008.
- BROWN, T. T.; KOENIG, R.T.; HARSH, J.B.; ROSSI, R. E. Lime effects on soil acidity, crop yield, and aluminum chemistry in direct-seeded cropping systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72:634-640, 2008.
- 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. 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, 2005.
- CHANTIGNY, M. H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; MASSÉ, D.; CÔTÉ, D. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:306-312, 2004.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DIEHL, R. C.; MIYAZAWA, M.; TAKAHASHI, H. W. Compostos orgânicos hidrossolúveis de resíduos vegetais e seus efeitos nos atributos químicos do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2653-2659, 2008, Número Especial.
- EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. *Agron. J.*, 94:128-135, 2002.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Manual de métodos de análises de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa Solos, 2006. 306p.
- FALLEIRO, R. M.; SOUZA, C. M.; SILVA, C. S. W.; SEDIYAMA, C. S.; SILVA, A. A.; FAGUNDES, J. L. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:1097-1104, 2003.
- GIACOMINI, S. J. e AITA, C. Emissão de dióxido de carbono após aplicação de dejetos líquidos e cama sobreposta de suínos. *Pesq. Agropec. Brás.*, 43:107-114, 2008.

- GIROTTI, E. Cobre e zinco no solo sob uso intensivo de dejetos líquidos de suínos. 2007, 121p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- HUE, N. V. & LICUDINE, D. L. Amelioration of subsoil acidity through surface application of organic manures. *J. Environ. Qual.*, 28:623-632, 1999.
- KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L. C.; BRUNETTO, G. SILVA, L. S. Eficiência da calagem superficial e incorporada precedendo o sistema plantio direto em um argissolo sob pastagem natural. *R. Bras. Ci. Solo*, 29:573-580, 2005.
- McDOWELL, R.; SHARPLEY, A. & FOLMAR, G. Phosphorus export from an agricultural watershed: Linking source and transport mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 30:1587-1595, 2001.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:123-131, 2007.
- SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 16:129-141, 1999.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A, BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. Análises de solo, planta e outros materiais. 2. ed. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- WHALEN, J. K.; CHANG, C.; CLAYTON, G. W.; CAREFOOT, J P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 64:962-966, 2000.

3 ARTIGO II – NUTRIENTES EM PERFIL DE SOLO COM SUCESSIVAS APLICAÇÕES DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS²

3.1 Resumo

Sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos, em solo sob plantio direto, podem elevar os teores de nutrientes acima da capacidade de adsorção do solo nas camadas superficiais. Com isso, os nutrientes podem ser transferidos para camadas mais profundas do solo, favorecendo a contaminação ambiental. O objetivo do trabalho foi avaliar a magnitude da distribuição de nutrientes no perfil de um solo submetido a aplicações sucessivas de dejetos líquidos de suínos e como isso pode impactar a nutrição de plantas e contaminação do ambiente. O experimento foi instalado em maio de 2000, numa área experimental sob sistema de plantio direto na Universidade Federal de Santa Maria, e conduzido até janeiro de 2008. Foram realizadas 19 aplicações superficiais de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, durante um período de 95 meses e, ao final, foram coletadas amostras do solo nas camadas de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm e avaliados os teores de N-mineral, P disponível, K trocável e os totais de N, P e K. A aplicação sucessiva de dejetos líquidos de suínos promoveu aumento no teor de N-total e P-total no solo até a profundidade de 30 cm, enquanto que os teores de P disponível e K trocável aumentaram até 60 cm de profundidade. A transferência de P disponível em profundidade é menos importante à nutrição de plantas, mas evidencia potencial de contaminação de águas subsuperficiais com P.

Termos para indexação: Nitrogênio, fósforo, potássio, adubação orgânica.

3.2 Abstract

² Artigo elaborado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Ciência do Solo.

NUTRIENTS IN THE SOIL PROFILE WITH SUCCESSIVE APPLICATIONS OF PIG SLURRY

Successive applications of pig slurry in soil under no-tillage, can increase nutrient levels above the adsorption capacity of soil in the surface layers. With that, the nutrients can be transferred to deeper layers of the soil, encouraging environmental contamination. The objective this study was to assess the magnitude of the distribution of nutrients in a soil profile subjected to successive applications of pig slurry and how that can impact on plant nutrition and environmental contamination. The experiment was installed in May of 2000, an experimental area under no-tillage in the Federal University of Santa Maria (UFSM), and conducted until January 2008. Nineteen applications were carried in soil surface of 0, 20, 40 and 80 m³ ha⁻¹ of pig slurry, during 95 months and, in the end, was collected soil layers of 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 and 50-60 cm and evaluated the levels of mineral N, available P, exchangeable K and total N, P and K. The successive application of pig slurry led to increase in the level of total N and total P in the soil until depths of 30 cm, while the levels of available P and exchangeable K increased to 60 cm depth. The transfer of available P at depth is less important to plant nutrition, but shows the potential for contamination of subsurface waters with P.

Index to terms: Nitrogen, phosphorus, potassium, organic waste.

3.3 Introdução

A atividade suinícola é uma importante fonte de renda, especialmente para pequenos produtores na Região Sul do Brasil. O predomínio de sistemas em confinamento tem promovido aumento na produção de dejetos líquidos (Seganfredo, 1999), cujo descarte é motivado para uso como fonte orgânica de nutrientes em áreas cultivadas com culturas anuais e/ou pastagens. Entretanto, geralmente as doses de dejetos aplicadas são elevadas e frequentes e, ao longo dos anos, ocorre o acúmulo de alguns nutrientes no solo, ultrapassando a capacidade de adsorção do solo e a necessidade das culturas (McDowell et al., 2001; Basso et al., 2005; Berwanger et al., 2008). Dessa forma, o manejo da adubação e a tomada de decisão quanto à quantidade de nutrientes a ser aplicada, podem sofrer alteração em um solo com

sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. Além disso, o aumento nas concentrações de nutrientes pode favorecer a contaminação ambiental devido, principalmente, a possibilidade de transferência de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, por escoamento superficial e percolação, contaminando mananciais de águas superficiais e subsuperficiais (Basso et al., 2005; Ceretta et al., 2005a; Berwanger et al., 2008).

O N é um dos nutrientes encontrados em maior concentração no dejetos líquidos de suínos, sendo, aproximadamente, 50% de sua totalidade encontrada na forma mineral (N-NH_4^+ e N-NH_3) (Aita et al., 2006). Após a aplicação do dejetos no solo, as bactérias nitrificadoras oxidam o N amoniacal até nitrato (N-NO_3^-), como observado por Aita et al. (2006), que encontraram taxas de nitrificação de até 0,98 e 1,53 $\text{kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, para as doses de 40 e 80 $\text{m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos, respectivamente, em avaliação realizada quatro dias após a aplicação do dejetos. Essa rápida transformação do N amoniacal até nitrato aumenta consideravelmente a sua concentração no solo. No entanto, seu acúmulo no solo se dá nos primeiros dias após a aplicação do dejetos, como observado por Chantigny et al. (2004), Assmann et al. (2007) e Adeli et al. (2008), e diminui ao longo dos dias. Isso ocorre em função das perdas por escoamento superficial (Smith et al., 2001a; Ceretta et al., 2005a) e percolação (Daudén et al., 2004; Basso et al., 2005), uma vez que forma complexo de esfera-externa com os grupos funcionais de superfície das partículas reativas do solo, sendo mantida a sua água de hidratação ao ser adsorvido e, por isso, a sua energia de adsorção do íon com as partículas orgânicas e inorgânicas é pequena, além da sua absorção pelas culturas.

O P é encontrado em grandes quantidades no dejetos de suínos, sendo mais de 60 % em frações inorgânicas (Cassol et al., 2001). O P apresenta grande importância nutricional para as plantas, mas quando aplicado em grandes quantidades pode acumular no solo e se tornar um poluente, provocando a contaminação de mananciais de água superficiais e subsuperficiais (Berwanger et al., 2008). Isso porque a adsorção de P no solo ocorre, predominantemente, pelo mecanismo de troca de ligantes e se dá, primeiramente, nos sítios de adsorção com maior afinidade pelo íon fosfato, formando ligações de alta energia e, por consequência, com baixa disponibilidade do nutriente na solução do solo. Entretanto, a adição de altas quantidades de P via dejetos faz com que ocorra redução da capacidade máxima de adsorção de P pelos sítios de adsorção do solo (Siddique & Robinson, 2003; Adeli et al., 2008). Como consequência, os íons fosfatos são adsorvidos com menor energia de ligação, aumentando o seu teor na solução do solo (McDowell et al., 2001) e a sua transferência por escoamento superficial (Smith et al., 2001b; Daverede et al., 2004; Ceretta et al., 2005a) e percolação (Basso et al., 2005; Vadas, 2006), podendo causar a eutrofização de mananciais de águas.

O K presente no dejetto líquido de suínos se encontra, em sua totalidade, na forma mineral, estando 100% disponível no momento da aplicação do dejetto (Ceretta et al., 2003). Em solos com aplicação de dejetto de suínos, Adeli et al. (2008) verificaram acúmulo de K extraído por Mehlich III até a profundidade de 30 cm. No entanto, o K adicionado ao solo forma ligação iônica fraca com os grupos funcionais de superfície (Kaminski et al., 2007), tornando o acúmulo desse elemento no solo pouco representativo, como verificado por Scherer et al. (2007). Esses autores não verificaram acúmulo de K em Latossolo submetido a aplicações anuais de 40 e 115 m³ ha⁻¹ de dejetto num período de quatro anos. Além disso, o K pode ser absorvido e exportado em grandes quantidades pelas culturas, como relatado por Ceretta et al. (2003), para explicar a diminuição dos seus teores trocáveis na camada 0-20 cm, em um Alissolo Crômico (atual Argissolo Bruno-Acinzentado) cultivado com pastagem natural e submetido a 28 aplicações de dejetto líquido de suínos, num período de 4 anos.

O objetivo do trabalho foi avaliar a magnitude da distribuição de nutrientes no perfil de um solo submetido a aplicações sucessivas de dejetto líquido de suínos e como isso pode impactar à nutrição de plantas e contaminação do ambiente.

3.4 Material e métodos

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria, RS. O solo foi um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 2006), com textura franco arenosa e localizado em um relevo com declividade de 4%. A área era mantida há oito anos sob o sistema de cultivo plantio direto até março de 2000, onde os atributos químicos do solo, na camada de 0-10 cm foram: teores de argila 170 g kg⁻¹; silte 300 g kg⁻¹; areia 530 g kg⁻¹; pH em água 4,7; H+Al 5,6 cmol_c dm⁻³; saturação por alumínio 17%; saturação por bases 42%; P disponível 15 mg dm⁻³; K trocável 96 mg dm⁻³; Ca trocável 2,7 cmol_c dm⁻³; Mg trocável 1,1 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica 16 g dm⁻³; CTC_{efetiva} 4,8 cmol_c dm⁻³ e CTC_{pH7} 9,6 cmol_c dm⁻³.

No período de maio de 2000 a janeiro de 2008 foram efetuadas 19 aplicações de dejetto líquido de suínos nas doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹. O dejetto foi proveniente de esterqueiras mantidas ao ar livre em propriedades rurais na região da Depressão Central do RS. As características dos dejetos aplicados antes da implantação de cada cultura e as quantidades de nutrientes adicionadas via dejetto são apresentadas no quadro II.1. O dejetto foi aplicado

manualmente, a lanço, sobre os resíduos vegetais da cultura anterior e antes da implantação de cada cultura da sucessão, sendo essa a única fonte aplicada de nutriente às culturas. As parcelas foram de 4 m x 3 m, totalizando 12 m². O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com três repetições. No período de condução do experimento foram implantadas as sucessões: aveia preta (*Avena strigosa*), milho (*Zea mays L.*) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*) no ano agrícola de 2000/01 e 2001/02 (Ceretta et al., 2005b); aveia preta, milheto (*Pennisetum americanum L.*) e feijão preto (*Phaseolus vulgaris L.*) em 2002/03; aveia preta+ervilhaca (*Vicia sativa L.*) e milho em 2003/04 e 2004/05; aveia preta, feijão preto e crotalária (*Crotalaria juncea L.*) em 2005/06; aveia preta e milho em 2006/07 e aveia em 2007.

Em janeiro de 2008, 95 meses após a implantação do experimento, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0-2, 2-4, 4-6, 6-8, 8-10, 10-12, 12-14, 14-16, 16-18, 18-20, 20-25, 25-30, 30-35, 35-40, 40-50 e 50-60 cm. O solo foi coletado com o auxílio de uma pá-de-corte, seco ao ar e, em seguida, moído manualmente com o auxílio de um rolo destorroador e passado em peneira com malha de 2 mm. Posteriormente, foram determinados os teores de N total e realizado a extração de P disponível e K trocável por Mehlich 1, segundo metodologia proposta por Tedesco et al. (1995). Os teores de P extraído pela solução Mehlich 1 foram determinados de acordo com Murphy & Riley (1962). Também foram determinados os teores totais de P e K, conforme (Helmke & Sparks, 1996). Para a determinação dos teores de N mineral (NH₄⁺ + NO₃⁻), foram coletadas amostras de solo estratificadas da mesma maneira descrita anteriormente até a profundidade de 20 cm e, imediatamente após a coleta, as amostras de solo foram armazenadas em sacos plásticos e congeladas em refrigerador tipo Freezer a -5°C. No momento da determinação do N mineral, as amostras de solo foram descongeladas e procedeu-se a análise de acordo com a metodologia proposta por Tedesco et al. (1995).

Os resultados qualitativos, entre as camadas de solo em uma mesma dose de dejetos, foram submetidos à análise de variância e, quando significativos os valores médios foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Os dados quantitativos, entre as doses de dejetos na mesma camada de solo, quando significativos foram submetidos ao ajuste de equações.

Quadro II.1. Características do dejetto líquido de suínos e quantidade de N, P e K aplicada antes da implantação de cada cultura durante o período de condução do experimento.

Características do Dejetto	Quantidade de nutriente aplicada antes de cada cultura											
	Primeiro ano agrícola (00/01)											
	Aveia preta				Milho				Nabo Forrageiro			
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,11	22,0	44,0	88,0	0,75	151,0	301,0	602,0	0,14	28,0	56,0	112,0
Fósforo total ⁽²⁾	2,40	9,1	18,2	36,4	2,10	42,0	84,0	168,0	4,10	6,5	13,1	26,2
Potássio total ⁽²⁾	1,20	4,5	8,9	17,8	4,60	91,4	183,0	365,0	2,40	3,8	7,7	15,4
Segundo ano agrícola (01/02)												
	Aveia preta				Milho				Nabo Forrageiro			
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,08	16,0	32,0	64,0	0,20	40,0	80,0	160,0	0,18	36,0	72,0	144,0
Fósforo total ⁽²⁾	1,50	3,3	6,6	13,2	1,60	12,0	24,0	48,0	1,30	3,1	6,2	12,4
Potássio total ⁽²⁾	1,30	2,9	5,8	11,6	2,10	15,5	31,0	62,0	1,70	4,1	8,2	16,3
Terceiro ano agrícola (02/03)												
	Aveia preta				Milho				Feijão Preto			
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,11	22,0	44,0	88,0	0,75	150,0	300,0	600,0	0,22	44,0	88,0	176,0
Fósforo total ⁽²⁾	2,12	2,0	4,0	8,0	1,19	15,9	31,8	63,6	2,95	28,4	56,8	113,6
Potássio total ⁽²⁾	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 (03/04)												
	Aveia preta + Ervilhaca						Milho					
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,28	56,0	112,0	224,0	0,40	80,0	160,0	320,0	0,40	80,0	160,0	320,0
Fósforo total ⁽²⁾	3,41	16,2	32,3	64,6	3,33	16,6	33,2	66,4	13,8	27,6	55,2	110,4
Potássio total ⁽²⁾	2,90	13,7	27,5	55,0	4,58	22,9	45,8	91,6	19,0	38,0	76,0	152,0
Quinto ano agrícola (04/05)												
	Aveia preta + Ervilhaca						Milho					
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,06	12,0	24,0	48,0	0,37	74,0	148,0	296,0	0,37	74,0	148,0	296,0
Fósforo total ⁽²⁾	4,22	8,4	16,8	33,6	5,58	11,1	22,2	44,4	80,3	160,6	321,2	642,4
Potássio total ⁽²⁾	10,13	20,3	40,5	81,0	1,27	25,4	50,8	101,6	18,3	36,6	73,2	146,4
Sexto ano agrícola (05/06)												
	Aveia preta				Feijão preto				Crotalaria			
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,30	60,0	120,0	240,0	0,12	24,0	48,0	96,0	0,10	20,0	40,0	80,0
Fósforo total ⁽²⁾	2,95	40,1	80,2	160,4	4,43	60,2	120,5	241,0	4,79	119,3	238,6	477,2
Potássio total ⁽²⁾	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 (06/07)												
	Aveia preta				Milho				Aveia preta			
	%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹			%	Aplicação - kg ha ⁻¹		
	20	40	80	20	40	80	20	40	80	20	40	80
N-total ⁽¹⁾	0,10	20,0	40,0	80,0	0,16	32,0	64,0	128,0	0,32	64,0	128,0	256,0
Fósforo total ⁽²⁾	5,37	106,7	213,5	427,0	5,18	19,8	39,6	79,2	5,77	40,6	81,2	162,4
Potássio total ⁽²⁾	1,85	36,8	73,6	147,2	3,56	13,6	27,2	54,4	3,58	25,2	50,4	100,8

⁽¹⁾ Análises em base úmida; ⁽²⁾ Análises em base seca.

3.5 Resultados e discussão

As 19 aplicações de 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos, durante 95 meses, promoveram o incremento de N total (N-tot), P total (P-tot), P disponível (P-disp) e K trocável (K-troc), em diferentes profundidades do solo. Por outro lado, os teores de N mineral (N-min) e K total (K-tot) não foram alterados no solo (Quadros II.2 á II.4).

O N-tot teve incremento até a profundidade de 30 cm (Quadro II.2) e pode ser justificado pela maior produção de matéria seca onde foram aplicadas as doses de dejetos, como observado por Ceretta et al. (2005b), bem como pelo manejo sob plantio direto durante a condução do trabalho. Neste sentido, em trabalho realizado em um Argissolo sob diferentes sistemas de manejo, Lovato et al. (2004) verificaram que o solo sob sistema plantio direto apresentou maior acúmulo de carbono orgânico ao longo de 13 anos de condução do experimento e, por consequência, também maiores teores de N-tot no solo, demonstrando uma estreita relação entre esses atributos.

O incremento de N-tot foi de até 88% com a aplicação do dejetos e ocorreu na camada de 0-2 cm. Entretanto, estes incrementos nas camadas mais superficiais do solo podem ser maiores, variando de 86 a 153%, como observado nos USA por Adeli et al. (2008), ao utilizar dejetos líquidos de suínos durante 15 anos em cultivo de pastagens. O incremento de N-tot no solo ocorre, normalmente, de maneira gradual e lenta e em função do aumento nos teores de carbono orgânico do solo (Wienhold, 2005). Os resultados obtidos no presente trabalho indicam que a aplicação de dejetos líquidos de suínos, ao aumentar os teores de N-tot no solo, pode diminuir a quantidade de N a ser aplicada às culturas, uma vez que a CQFS-RS/SC (2004) utiliza o teor de matéria orgânica do solo como um dos critérios à recomendação da dose de nitrogênio a ser aplicada às culturas.

A aplicação do dejetos não alterou os teores de N-min no solo (Quadro II.2). Isso pode ser atribuído a baixa afinidade das formas minerais de nitrogênio (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻) com os colóides do solo, favorecendo as perdas por escoamento superficial (Ceretta et al., 2005a), percolação (Basso et al., 2005) e também pela absorção pelas culturas. Estes fenômenos de transferência de N no perfil do solo por percolação acontecem ao longo do tempo, podendo ser observado em períodos curtos como 79 dias e atingir até 60 cm de profundidade, conforme obtido por Aita et al. (2006). Entretanto, as maiores perdas de nitrato por percolação ocorrem nos primeiros dias após a aplicação do dejetos, uma vez que as bactérias nitrificadoras

transformam o amônio presente no dejetto em nitrato e, somado a isso, é o período onde as culturas demandam menores quantidades de formas de N (Basso et al., 2005). Além disso, podem ocorrer perdas por volatilização de amônia de até 26% do N-min aplicado via dejetto líquido de suínos, como observado por Basso et al. (2004).

Quadro II.2. Valores de nitrogênio total e mineral em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetto, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Nitrogênio total (mg dm ⁻³)					
0-2	1.738 a ¹	1.983 a ¹	2.250 a ¹	3.275 a ¹	Y= 1.091,6 + 487,86x	0,87*
2-4	1.403 b	1.648 b	1.849 b	2.606 b	Y= 924,5 + 380,93x	0,90*
4-6	1.114 c	1.448 c	1.537 c	1.648 c	Y= 1.013,6 + 169,30x	0,90*
6-8	958 d	1.092 d	1.426 c	1.403 d	Y= 802,0 + 167,08x	0,87*
8-10	824 e	1.092 d	1.158 d	1.381 d	Y= 679,4 + 173,76x	0,96*
10-12	718 f	958 d	1.114 d	1.203 d	Y= 595,8 + 160,99x	0,96*
12-14	757 e	869 e	936 e	1.136 e	Y= 623,8 + 120,28x	0,95*
14-16	802 e	824 e	902 e	1.136 e	Y= 646,0 + 108,02x	0,83*
16-18	702 f	802 e	824 e	1.025 e	Y= 590,4 + 99,10x	0,89*
18-20	601 f	802 e	802 e	1.002 e	Y= 501,3 + 120,25x	0,90*
20-25	668 f	735 e	769 e	1.036 e	Y= 517,8 + 113,65x	0,83*
25-30	802 e	802 e	802 e	1.025 e	Y= 690,6 + 66,82x	0,60*
30-35	735 f	769 e	780 e	1.002 e	ns	
35-40	668 f	752 e	758 e	802 f	ns	
40-50	668 f	735 e	735 e	668 f	ns	
50-60	535 f	535 e	635 e	601 f	ns	
CV, %	9,50	11,14	8,07	13,20		
cm	Nitrogênio mineral (mg dm ⁻³)					
0-2	51,06 a ¹	62,33 a ¹	69,43 a ¹	67,64 a ¹	ns	
2-4	55,46 a	61,83 a	69,68 a	66,11 a	ns	
4-6	46,34 a	62,59 a	53,39 b	61,21 a	ns	
6-8	45,79 a	56,69 b	55,41 b	59,30 a	ns	
8-10	37,29 b	49,72 c	51,47 b	54,32 a	ns	
10-12	40,99 b	47,71 c	46,57 b	48,57 b	ns	
12-14	39,18 b	44,54 c	45,84 b	43,27 b	ns	
14-16	34,68 b	46,67 c	46,11 b	41,10 b	ns	
16-18	30,40 b	44,15 c	47,14 b	37,70 b	ns	
18-20	32,91 b	42,63 c	41,83 b	43,80 b	ns	
CV, %	13,00	5,91	13,33	18,42		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha=0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

O fato de alguns trabalhos indicarem acúmulo de N-min em solos com a aplicação de dejetto líquido de suínos, como os realizados por Chantigny et al. (2004), Assmann et al. (2007) e Adeli et al. (2008), pode estar relacionado com o momento de coleta das amostras de solo. Isso porque nestes trabalhos citados, as coletas de solo foram realizadas em períodos não

superiores a cinco meses após a aplicação do dejetos, enquanto que no presente trabalho a coleta de solo foi realizada dez meses após a última aplicação do dejetos. Isso pode justificar o não incremento de N-min neste trabalho, porque, neste caso, provavelmente o N-min já poderia ter sido utilizado pelas plantas ou transferido, quando da coleta do solo.

As aplicações de dejetos líquido de suínos provocaram incrementos de P-tot até a profundidade de 30 cm, os quais foram maiores com as aplicações de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos, em cuja dose variou de 345% (1.133 mg dm^{-3}) na camada de 0-2 cm, a 65% (98 mg dm^{-3}) na camada de 25-30 cm (Quadro II.3). Isso é justificado pelo fato da quantidade acumulada estar diretamente relacionada com a quantidade de P aplicada com o dejetos (Berwanger et al., 2008).

Os teores de P-disp também foram incrementados com as aplicações de dejetos até a profundidade de 60 cm (Quadro II.3). À semelhança do P-tot, os teores de P-disp também tiveram maiores aumentos com a dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do dejetos. Entretanto, os incrementos de P-disp foram muito mais significativos, pois atingiram até 3.883% (893 mg dm^{-3}) na camada de 0-2 cm e 300% ($4,8 \text{ mg dm}^{-3}$) na camada de 50-60 cm de profundidade. Isso pode ser justificado pelas altas quantidades de P aplicadas via dejetos ao longo dos 95 meses de condução do experimento, principalmente nos dois últimos anos agrícolas (Quadro II.1). Em trabalho realizado no mesmo experimento, Berwanger et al. (2008) verificaram acúmulo de P-disp até a profundidade de 15 cm, mas esses autores coletaram o solo em maio de 2005, sendo que até aquele momento haviam sido realizadas 14 aplicações de dejetos, totalizando $1.124,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos. Por sua vez, a coleta no presente trabalho foi realizada em janeiro de 2008, quando haviam sido realizadas 19 aplicações de dejetos, totalizando $2.511,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, ou seja, nas últimas cinco aplicações foram adicionados $1.386,8 \text{ kg ha}^{-1}$ de P na dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos. Esse grande aporte de P aplicado em pouco tempo no solo pode ter levado a uma saturação dos sítios de adsorção das partículas reativas das camadas mais superficiais do solo, diminuindo a energia de ligação do P, permitindo a transferência do P até a camada de 60 cm.

A recomendação de adubação e calagem para culturas em sistema plantio direto nos estados do RS e SC, é feita com base na amostragem do solo na camada de 0-10 cm do solo (CQFS-RS/SC, 2004). Nesta camada, onde não foi aplicado dejetos, o teor de P-disp era $12,8 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado baixo. Entretanto, com a aplicação de $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos, após as 19 aplicações do dejetos, os teores de P tiveram um acréscimo de 853%, ou seja, aumentaram para 122 mg dm^{-3} e passaram a ser considerados muito altos ($>42 \text{ mg de P-disp dm}^{-3}$ em solo com $\leq 20\%$ de argila). Com a aplicação de 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos, os teores de P-disp na camada

0-10 cm tiveram aumentos ainda mais expressivos, atingindo 2.056 e 5.791%, respectivamente. Resultados semelhantes foram obtidos por Ceretta et al. (2003) em estudo realizado com aplicação de dejetos líquido de suínos em pastagem natural. Esses autores realizaram 28 aplicações de dejetos durante 48 meses e verificaram incrementos nos teores de P-disp de 3.943 e 6.710% para as doses de 20 e 40 m³ ha⁻¹ de dejetos, respectivamente, na camada de 0-10 cm.

Quadro II.3. Valores de fósforo total e disponível extraído por Mehlich 1 em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Fósforo total (mg dm ⁻³)					
0-2	328 a ¹	673 a ¹	1.037 a ¹	1.461 a ¹	Y= - 66,2 + 376,35x	0,99*
2-4	279 b	523 b	963 a	1.288 b	Y= - 103,3 + 346,59x	0,99*
4-6	273 b	458 c	814 b	1.161 c	Y= - 78,5 + 302,07x	0,98*
6-8	252 b	400 d	671 c	1.001 d	Y= - 48,4 + 251,73x	0,97*
8-10	265 b	360 d	562 d	933 d	Y= - 21,5 + 220,54x	0,93*
10-12	259 b	293 e	464 e	831 e	Y= - 10,0 + 188,74x	0,86*
12-14	229 c	285 e	423 e	781 e	Y= - 18,9 + 179,38x	0,87*
14-16	222 c	260 e	381 f	709 f	Y= - 2,2 + 158,03x	0,85*
16-18	199 d	241 e	355 f	592 g	Y= 23,2 + 129,37x	0,90*
18-20	198 d	226 e	325 f	486 h	Y= 68,0 + 96,29x	0,91*
20-25	167 d	187 f	209 g	300 i	Y= 110,3 + 42,19x	0,86*
25-30	150 e	168 f	180 g	248 i	Y= 110,3 + 30,45x	0,85*
30-35	135 e	191 f	159 g	201 j	ns	
35-40	134 e	158 f	161 g	154 j	ns	
40-50	122 e	148 f	154 g	138 j	ns	
50-60	129 e	147 f	145 g	134 j	ns	
CV, %	10,89	10,47	10,59	8,35		
cm	Fósforo disponível (mg dm ⁻³)					
0-2	23,0 a ¹	198,2 a ¹	360,3 a ¹	916,0 a ¹	Y= - 335,8 + 284,08x	0,90*
2-4	10,7 b	171,3 b	346,2 a	867,3 a	Y= - 337,3 + 274,46x	0,91*
4-6	9,3 b	120,9 c	284,5 b	762,9 b	Y= - 311,7 + 242,44x	0,89*
6-8	10,0 b	71,1 d	222,2 c	627,5 c	Y= - 268,2 + 200,37x	0,87*
8-10	10,8 b	48,5 e	166,5 d	596,0 c	Y= - 263,0 + 187,38x	0,81*
10-12	10,5 b	35,5 f	132,0 e	516,6 d	Y= - 230,1 + 161,48x	0,79*
12-14	7,3 b	22,3 g	108,1 e	316,7 e	Y= - 139,9 + 101,40x	0,84*
14-16	7,3 b	18,5 g	73,8 f	265,8 e	Y= - 116,4 + 83,10x	0,80*
16-18	6,5 b	13,0 g	53,5 f	218,6 f	Y= - 96,3 + 67,68x	0,77*
18-20	6,0 c	10,3 h	45,9 f	182,9 f	Y= - 80,3 + 56,64x	0,78*
20-25	3,8 c	6,3 h	14,5 g	129,1 g	Y= - 57,6 + 38,40x	0,67*
25-30	3,1 c	5,2 h	11,8 g	52,9 h	Y= - 20,8 + 15,61x	0,74*
30-35	2,5 c	7,8 h	8,0 g	34,3 h	Y= - 10,8 + 9,58x	0,74*
35-40	2,9 c	4,1 h	6,3 g	14,7 h	Y= - 2,3 + 3,74x	0,83*
40-50	1,9 c	2,1 h	7,5 g	10,7 h	Y= - 2,4 + 3,20x	0,91*
50-60	1,6 c	1,9 h	4,6 g	6,4 h	Y= - 0,6 + 1,69x	0,93*
CV, %	44,52	14,02	13,75	10,84		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

A relevância dos resultados obtidos no presente trabalho está no fato de que as sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos fornecem quantidades superiores às recomendações de adubação fosfatada em lavouras com culturas anuais e de pastagens. Dessa forma, a aplicação de doses elevadas de dejetos, ou mesmo pequenas doses de dejetos com altas concentrações de P, ao acarretar em elevação dos teores de P no solo, acima daqueles considerados ideais pela CQFS-RS/SC (2004), aumentam os riscos de contaminação ambiental através da transferência de P por escoamento superficial e percolação para ambientes aquáticos.

As aplicações de dejetos líquidos de suínos não alteraram os teores de K-tot (Quadro II.4). Uma das justificativas para esta resposta pode ser as características do solo, onde são baixos os teores de argila, é altamente intemperizado e a presença de argilominerais 2:1 é pouco significativa. Por isso, os teores de K-tot observados devem ser provenientes do K estrutural dos argilominerais, sendo similares em todos os tratamentos.

O K-troc apresentou incremento até a profundidade de 60 cm com a aplicação de dejetos líquidos de suínos, sendo que o acréscimo mais expressivo ocorreu com a dose de $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, resultando em aumento médio de 44% na camada de 0-4 cm e de 47% na camada de 40-60 cm (Quadro II.4). Estes semelhantes percentuais de acréscimo nos teores de K-troc nas camadas mais superficiais e mais profundas indicam que houve transferência de K, bem como perdas por percolação, pois o acréscimo aconteceu até a camada mais profunda. Entretanto, quando a matéria seca produzida é retirada, como o caso em algumas pastagens, mesmo com altas adições de K, os teores de K-troc no solo podem diminuir e isso foi observado por Ceretta et al. (2003), após 28 aplicações de 0, 20 e $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos líquidos de suínos, durante quatro anos em um Alissolo Crômico (atual Argissolo Bruno-Acinzentado, conforme Embrapa (2006)).

No momento da instalação do experimento, a camada 0-10 cm do solo apresentava 96 mg dm^{-3} de K-troc, considerado alto (entre 60 e 120 mg dm^{-3} em solo com CTC_{pH7} entre 5 e $15 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) pela CQFS-RS/SC (2004). Após 19 aplicações de dejetos líquidos de suínos, onde foram aplicadas as doses de 0, 20, 40 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ de dejetos, os teores de K-troc foram de 51, 60, 66 e 86 mg dm^{-3} na camada de 0-10 cm, respectivamente. Isso reforça ainda mais a idéia de que houve perdas de K por escoamento superficial e percolação, pois foram aplicadas quantidades de K que variaram de 303 a 1.212 kg ha^{-1} de K com as doses de 20 e $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ do dejetos, respectivamente. Entretanto, com as aplicações do dejetos foi possível manter altos os teores de K-troc no solo, considerado ideal pela CQFS-RS/SC (2004).

Quadro II.4. Valores de potássio total e trocável extraído por Mehlich 1 em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Potássio total (mg dm ⁻³)					
0-2	1.033 b ¹	1.073 a ¹	1.120 a ¹	1.133 a ¹	ns	
2-4	1.020 b	1.060 a	1.107 a	1.133 a	ns	
4-6	1.000 b	1.060 a	1.107 a	1.113 a	ns	
6-8	993 b	1.033 b	1.053 a	1.107 a	ns	
8-10	1.000 b	1.020 b	1.007 b	1.060 b	ns	
10-12	1.000 b	1.013 b	1.000 b	1.060 b	ns	
12-14	987 b	1.013 b	1.000 b	1.060 b	ns	
14-16	993 b	1.007 b	980 b	1.007 b	ns	
16-18	993 b	1.007 b	993 b	1.013 b	ns	
18-20	973 b	993 b	1.000 b	1.013 b	ns	
20-25	980 b	993 b	1.007 b	1.010 b	ns	
25-30	973 b	987 b	1.013 b	1.007 b	ns	
30-35	967 b	987 b	1.013 b	1.013 b	ns	
35-40	1.033 b	1.020 b	1.020 b	1.013 b	ns	
40-50	1.100 a	1.093 a	1.067 a	1.067 b	ns	
50-60	1.127 a	1.127 a	1.107 a	1.153 a	ns	
CV, %	4,02	4,75	4,69	5,90		
cm	Potássio trocável (mg dm ⁻³)					
0-2	113 a ¹	115 a ¹	139 a ¹	150 a ¹	Y= 95,3 + 13,60x	0,92*
2-4	56 b	74 b	68 b	86 b	Y= 50,0 + 8,40x	0,75*
4-6	34 c	49 c	59 c	72 c	Y= 22,3 + 12,40x	0,99*
6-8	28 d	34 d	38 d	61 d	Y= 14,3 + 10,40x	0,85*
8-10	23 e	27 e	25 f	62 d	Y= 5,3 + 11,53x	0,64*
10-12	20 e	27 e	22 g	45 e	Y= 11,3 + 6,87x	0,62*
12-14	25 d	37 d	31 e	41 e	Y= 22,3 + 4,40x	0,62*
14-16	22 e	32 d	27 f	35 f	Y= 20,3 + 3,53x	0,62*
16-18	18 f	34 d	30 g	31 f	Y= 19,3 + 3,60x	0,43*
18-20	20 e	28 e	26 f	30 f	Y= 19,0 + 2,80x	0,70*
20-25	17 f	21 f	21 g	26 g	Y= 14,7 + 2,67x	0,93*
25-30	16 f	22 f	21 g	21 g	Y= 16,3 + 1,53x	0,50*
30-35	17 f	18 f	19 g	24 g	Y= 13,7 + 2,27x	0,83*
35-40	15 f	16 g	18 g	20 g	Y= 13,3 + 1,60x	0,96*
40-50	15 f	13 g	17 g	21 g	Y= 11,6 + 1,94x	0,65*
50-60	13 f	13 g	12 h	20 g	Y= 9,0 + 2,13x	0,53*
CV, %	7,04	6,50	7,67	8,50		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

3.6 Conclusões

1. Aplicações sucessivas de dejetos líquido de suínos promovem incrementos, principalmente, nos teores de P no solo, sendo altamente significativos os aumentos nos teores de P disponível

e isso, somado ao fato de que houve incremento até a camada mais profunda do solo, preocupa do ponto de vista ambiental porque significa potencial para causar eutrofização.

2. O fato das aplicações de dejetos líquidos de suínos proporcionarem aumentos no N total mas não alterarem os teores de N mineral, significa que o manejo adequado para uso mais eficiente do N, adicionado através do dejetos, implica na manutenção de cultivos no solo.

3. Os incrementos de K trocável no solo, com as aplicações de dejetos líquidos de suínos, foram relativamente menores que de P disponível, indicando que as perdas do K adicionado através dos dejetos são maiores. Contudo, as aplicações de dejetos permitiram manter teores altos de K no solo, na camada de 0-10 cm, que é considerada para fins de recomendação de adubação e calagem no RS e SC.

3.7 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 Sci.*, 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.
- ASSMANN, T. S.; ASSMANN, J. M.; CASSOL, L. C.; DIEHL, R. C.; MANTELI, C.; MAGIERO, E. C. Desempenho da mistura forrageira de aveia-preta mais azevém e atributos químicos do solo em função da aplicação de esterco líquido de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1515-1523, 2007.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S.; SILVEIRA, M. J. Perdas de nitrogênio de dejetos líquidos de suínos por volatilização de amônia. *Ci. Rural*, 34:1773-1778, 2004.
- BASSO, C. J.; CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; POLETTO, N.; GIROTTI, E. Dejetos líquidos de suínos: II – perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35:1305-1312, 2005.
- BERWANGER, A. L.; CERETTA, C. A.; RHEINHEIMER, D. S. Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 32:2525-2532, 2008.

- 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. 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, 2005a.
- CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; PAVINATO, P. S.; TRENTIN, E. E.; GIROTTO, E. Produtividade de grãos de milho, produção de matéria seca e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejeito líquido de suínos. *Ci. Rural*, 35:1287-1295, 2005b.
- CHANTIGNY, M. H.; ROCHETTE, P.; ANGERS, D. A.; MASSÉ, D.; CÔTÉ, D. Ammonia volatilization and selected soil characteristics following application of anaerobically digested pig slurry. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:306-312, 2004.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.
- DAUDÉN, A.; QUÍLEZ, D.; VERA, M. V. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in mediterranean soil lysimeters. *J. Environ. Qual.*, 33:2290–2295, 2004.
- DAVEREDE, I. C.; KRAVCHENKO, A. N.; HOEFT, R. G.; NAFZIGER, E. D.; BULLOCK, D. G.; WARREN, J. J.; GONZINI, L. C. Phosphorus runoff from incorporated and surface-applied liquid swine manure and phosphorus fertilizer. *J. Environ. Qual.*, 33:1535–1544, 2004.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília: Embrapa, 2006. 306p.
- HELMKE, P.A. & SPARKS, D.L. Lithium, sodium, potassium, rubidium, and cesium. In: SPARKS, D.L., ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*. Madison, Soil Science Society of America, 1996. p.551-574.
- KAMINSKI, J.; BRUNETTO, G.; MOTERLE, D. F.; RHEINHEIMER, D. S. Depleção de formas de potássio do solo afetada por cultivos sucessivos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:1003-1010, 2007.

- LOVATO, T.; MIELNICZUK, J.; BAYER, C.; VEZZANI, F. Adição de carbono e nitrogênio e sua relação com os estoques no solo e com o rendimento do milho em sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 28:175-187, 2004.
- McDOWELL, R.; SHARPLEY, A. & FOLMAR, G. Phosphorus export from an agricultural watershed: Linking source and transport mechanisms. *J. Environ. Qual.*, 30:1587-1595, 2001.
- MURPHY, J. & RILEY, J. P. A Modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta*, 27:31-36, 1962.
- SCHERER, E. E.; BALDISSERA, I. T.; NESI, C. N. Propriedades químicas de um latossolo vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:123-131, 2007.
- SEGANFREDO, M. A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 16:129-141, 1999.
- SIDDIQUE, M. T. & ROBINSON, J. S. Phosphorus sorption and availability in soils amended with animal manures and sewage sludge. *J. Environ. Qual.* 32:1114-1121, 2003.
- SMITH, K. A.; JACKSON, D. R.; PEPPER, T. J. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 1. Nitrogen. *Environ. Poll.*, 112:41-51, 2001a.
- SMITH, K. A.; JACKSON, D. R.; PEPPER, T. J. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. 2. Phosphorus. *Environ. Poll.*, 112:53-60, 2001b.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A, BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S. J. *Análises de solo, planta e outros materiais*. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.
- VADAS, P. A. Distribution of phosphorus in manure slurry and its infiltration after application to soils. *J. Environ. Qual.*, 35:542-547, 2006.
- WIENHOLD, B. J. Changes in soil attributes following low phosphorus swine slurry application to no-tillage sorghum. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 69:206-214, 2005.

4 DISCUSSÃO

As alterações provocadas nos atributos químicos do solo pelas sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos durante a condução do experimento são reflexos, principalmente, das características dos dejetos aplicados em cada cultura, dos atributos físico-químicos do solo no momento da instalação do experimento, das culturas e sistemas de preparo do solo utilizados na condução do experimento. No entanto, esses fatores apresentam maior ou menor importância nas alterações provocadas no solo, dependendo do atributo químico do solo avaliado.

As características dos dejetos utilizados em cada cultura durante a condução do experimento (Quadros I.1 e II.1) implicam, principalmente, na alteração dos teores de nutrientes no solo, uma vez que ocorrem altas adições via dejetos nas doses utilizadas. Um exemplo disso foram os incrementos observados nos teores de P-tot e P-disp, que atingiram profundidades de 30 e 60 cm, respectivamente (Quadro II.3). Isso evidencia que as altas quantidades de P adicionadas ao solo nas 19 aplicações de dejetos (Tabela 1) se constituíram no principal fator que contribuiu para o aumento nos teores desse elemento no solo. Essa justificativa foi utilizada por Scherer et al. (2007) para explicar a formação de gradientes de P disponível nas camadas superficiais (0-5 e 5-10 cm) de Latossolo Vermelho após aplicação de 0, 40 e 115 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos, num período de três anos.

Tabela 1 – Quantidade total de nutrientes aplicada via dejetos líquidos de suínos durante os 95 meses de condução do experimento.

Doses de dejetos	Nitrogênio	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
	kg ha ⁻¹				
0	-	-	-	-	-
20	951,0	624,3	363,7	326,9	378,2
40	1902,0	1248,5	727,4	653,8	756,4
80	3804,0	2497,0	1454,8	1307,6	1512,8

Os incrementos nos valores de soma de bases até 20 cm de profundidade (Tabela 2) também podem ser atribuídos às características dos dejetos utilizados. Isso porque, foram adicionadas altas quantidades de cátions trocáveis, como K, Ca e Mg, nas dezenove

aplicações de dejetos realizadas (Tabela 1). Isso refletiu, também, em incrementos nos valores de saturação por bases (Quadro I.3) e CTC efetiva (Tabela 3). Os incrementos na CTC efetiva, diferentemente da $CTC_{pH7,0}$ (Quadro I.5), atingiram maiores profundidades, demonstrando que as alterações nesse atributo apresentam relação com as características do dejetos, mais especificamente, com a presença de cátions trocáveis. 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.

Tabela 2 – Valores de soma de bases em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Soma de bases (cmol _c dm ⁻³)					
0-2	5,26 a ¹	5,89 a ¹	6,81 a ¹	8,33 a ¹	Y = 4,040 + 1,014x	0,96*
2-4	4,22 b	5,15 b	6,26 b	7,10 b	Y = 3,243 + 0,976x	0,99*
4-6	3,82 b	4,55 c	5,55 c	6,62 b	Y = 2,783 + 0,941x	0,99*
6-8	3,93 b	4,26 c	5,25 c	6,03 c	Y = 3,042 + 0,730x	0,97*
8-10	3,90 b	4,29 c	5,04 d	5,89 c	Y = 3,095 + 0,674x	0,98*
10-12	3,79 b	4,19 c	4,88 d	5,66 c	Y = 3,058 + 0,629x	0,98*
12-14	3,70 b	4,06 c	4,95 d	5,44 d	Y = 3,012 + 0,609x	0,97*
14-16	3,65 b	3,96 c	4,89 d	5,28 d	Y = 2,985 + 0,584x	0,98*
16-18	3,79 b	3,74 c	4,83 d	5,03 d	Y = 3,141 + 0,482x	0,84*
18-20	3,69 b	3,72 c	4,70 d	4,99 d	Y = 3,052 + 0,489x	0,89*
20-25	3,61 b	3,74 c	4,56 d	4,30 e	ns	
25-30	3,30 b	3,37 d	4,10 e	3,81 f	ns	
30-35	2,87 c	3,12 d	3,59 f	3,55 f	ns	
35-40	2,61 c	2,76 e	3,28 f	3,19 g	ns	
40-50	2,05 d	2,46 e	2,76 g	2,88 g	ns	
50-60	2,00 d	2,24 e	2,43 g	2,92 g	ns	
CV, %	10,55	11,04	5,32	6,26		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

Esses resultados são reflexos das características dos dejetos, uma vez que os mesmos apresentam concentrações de nutrientes desproporcionais a necessidade das culturas, dificultando o estabelecimento de doses referenciais para cada cultura sem provocar contaminação ambiental. Nesse caso, cabe aos técnicos e produtores utilizarem a concentração de nutrientes no dejetos como critério 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.

Tabela 3 – Valores de CTC efetiva em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetos líquidos de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetos, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)					
0-2	5,4 ^{ns}	6,0 a ¹	6,9 a ¹	8,4 a ¹	Y= 4,1459 + 1,0105x	0,96*
2-4	4,5	5,3 a	6,4 b	7,3 b	Y= 3,4613 + 0,9571x	0,99*
4-6	4,2	4,8 b	5,0 c	6,8 b	Y= 3,2328 + 0,867x	0,98*
6-8	4,4	4,6 b	5,5 d	6,2 c	Y= 3,5808 + 0,6304x	0,94*
8-10	4,4	4,7 b	5,3 d	6,0 c	Y= 3,7086 + 0,5565x	0,97*
10-12	4,3	4,6 b	5,2 d	5,8 d	Y= 3,719 + 0,5078x	0,98*
12-14	4,3	4,4 b	5,3 d	5,6 d	Y= 3,6662 + 0,4946x	0,94*
14-16	4,4	4,4 b	5,2 d	5,5 d	Y= 3,8244 + 0,4157x	0,88*
16-18	4,6	4,1 b	5,1 d	5,3 d	Y= 4,0207 + 0,3035x	0,54*
18-20	4,5	4,2 b	5,1 d	5,2 d	ns	
20-25	4,4	4,2 b	4,9 d	4,8 e	ns	
25-30	4,1	4,1 b	4,6 e	4,4 e	ns	
30-35	3,9	4,1 b	4,4 e	4,4 e	ns	
35-40	3,9	3,8 b	4,3 e	4,3 e	ns	
40-50	3,7	3,7 b	4,3 e	4,0 e	ns	
50-60	4,0	3,7 b	4,0 e	4,2 e	ns	
CV, %	9,0	10,0	4,8	5,9		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

As características químicas iniciais do solo também são um importante fator a ser considerado para avaliar as alterações provocadas pelas sucessivas aplicações de dejetos líquidos de suínos. A tabela 4 apresenta as características químicas da camada 0-10 cm do solo no momento da instalação do experimento e, de acordo com a CQFS-RS/SC (2004), atributos como o pH, matéria orgânica, saturação por bases e por alumínio, apresentavam valores que os colocam em faixas de interpretações consideradas inadequadas para um bom desenvolvimento das culturas. Com a aplicação de dejetos houve alteração desses atributos no solo, como apresentado e discutido no artigo I, e, conseqüentemente, as faixas de interpretações também mudaram, como apresentado na tabela 4. Esses resultados podem ser atribuídos as condições iniciais do solo, pois em estudo realizado com aplicação de dejetos e compostos orgânicos, Eghball (2002) salienta que a utilização de resíduos pode alterar os valores pH do solo, sendo que a alteração depende do pH do solo no momento da aplicação

dos resíduos. Além disso, Adeli et al. (2008) salienta que as alterações no teores de carbono orgânico do solo estão relacionadas com o tipo de solo onde são realizadas as aplicações de dejetos.

Aliado a isso, Scherer et al. (2007), após aplicações anuais de 0, 40 e 115 m³ ha⁻¹ de dejetos de suínos durante quatro anos, não observaram alteração em atributos químicos de um solo que apresentava a maioria das características iniciais em faixas consideradas ideais pela CQFS-RS/SC (2004). Esses autores apenas observaram incrementos nos teores de P disponível no solo, reforçando a idéia de que as alterações nos teores de P estão relacionadas com as quantidades adicionadas via dejetos e não dependem das características do solo. No entanto, em casos particulares de solos que apresentam altos teores de carbonatos de cálcio (CaCO₃) e/ou alumínio trocável (Al⁺³), pode ocorrer a formação e precipitação de fosfato de cálcio ou de alumínio, reduzindo o acúmulo de P disponível no solo, como relatado por Adeli et al. (2008) e Smith & Moore (2005).

Tabela 4 – Atributos químicos de Argissolo na profundidade de 0-10 cm no momento da instalação do experimento e após 8 anos de cultivo com os tratamentos sem e com aplicação 80 m³ ha⁻¹ de dejetos líquidos de suínos (DLS).

Atributo	Características iniciais		Sem aplicação de DLS		80 m ³ ha ⁻¹ de DLS	
	Valor	Interpretação ¹	Valor	Interpretação ¹	Valor	Interpretação ¹
Argila (g kg ⁻¹)	170	Classe 4	170	Classe 4	170	Classe 4
pH em água	4,7	Muito Baixo	5,0	Muito Baixo	5,3	Baixo
Índice SMP	5,5	-	5,8	-	6,0	-
Matéria Orgânica (g kg ⁻¹)	16	Baixo	19	Baixo	38	Médio
Fósforo (mg dm ⁻³)	15	Médio	12,8	Baixo	754	Muito Alto
Potássio (mg dm ⁻³)	96	Alto	50,7	Médio	86	Alto
Cálcio (cmol _c dm ⁻³)	2,7	Médio	2,2	Médio	3,4	Médio
Magnésio (cmol _c dm ⁻³)	1,1	Alto	1,9	Alto	3,1	Alto
Saturação por bases (%)	42	Muito Baixo	43	Muito Baixo	61	Baixo
Saturação por alumínio (%)	17	Médio	7,9	Baixo	2	Baixo
CTC efetiva (cmol _c dm ⁻³)	4,8	-	4,6	-	6,9	-
CTC pH _{7,0} (cmol _c dm ⁻³)	9,6	Médio	9,8	Médio	11,2	Médio

¹ Interpretação realizada de acordo com CQFS-RS/SC (2004).

As características físicas do solo, como os teores de areia, silte e argila, também influenciam as alterações que ocorrem no solo após as aplicações de dejetos. Essa pode ser uma das justificativas para as alterações observadas nos valores de pH do solo. Isso porque, o solo utilizado no presente trabalho apresenta predomínio da fração areia (Tabela 5) e, neste

caso, o chamado poder tampão do solo é menor, favorecendo as alterações do pH. Resultados semelhantes foram observados por Wu & Powell (2007) em estudo realizado com aplicações de diferentes tipos de dejetos em um solo argiloso e um solo arenoso. Esses autores observaram aumento nos valores de pH do solo arenoso após duas aplicações de dejetos no cultivo de sorgo, no entanto, essas alterações não foram observadas no solo argiloso.

Tabela 5 – Análise textural e classes texturais nos horizontes do Argissolo na área experimental.

Horizontes do solo	Argila	Silte	Areia Total	Areia Fina	Areia Grossa	Classe textural
	-----g kg ⁻¹ -----					
Ap	170	300	530	266	196	Franco arenosa
A	170	340	490	276	184	Franca
AB	210	340	450	274	193	Franca
Bt	290	370	340	252	125	Franco argilosa

Adaptado de Berwanger (2006).

O acúmulo de nutrientes no solo também pode apresentar comportamento diferenciado dependendo das características texturais do solo, como observado por Lloveras et al. (2004). Em estudo realizado com aplicações anuais de 25 e 50 m³ ha⁻¹ de dejetos de suínos durante dois anos, esses autores verificaram incremento nos teores de P, Mg, Zn e Fe em solo com textura franco argilo siltosa (131 g kg⁻¹ de areia, 600 g kg⁻¹ de silte e 269 g kg⁻¹ de argila) e não observaram incrementos desses nutrientes em solo com textura franco argilosa (444 g kg⁻¹ de areia, 266 g kg⁻¹ de silte e 290 g kg⁻¹ de argila). Resultados semelhantes foram observados por Adeli et al. (2006) em estudo realizado com aplicação de cama de frango em solos com diferentes texturas. Esses autores observaram maiores incrementos nos teores de P nos solos que apresentavam maiores teores de silte e argila, em comparação ao solo arenoso. Esses resultados são importantes, pois evidenciam que a fração silte apresenta grande participação nas reações de adsorção do solo.

O comportamento diferenciado dos diferentes tipos de solo em relação a aplicação de dejetos infere para o fato de que a definição de áreas para a difusão da atividade suinícola deve considerar, como um dos critérios, o tipo de solo predominante na região. Isso porque, como discutido anteriormente, essa atividade gera uma quantidade elevada de dejetos, o qual é utilizado pelos produtores como fonte de nutrientes em culturas. Como os produtores,

normalmente, realizam aplicações sucessivas numa mesma área, é importante que o solo apresente características que minimizem os efeitos contaminantes da adição de altas quantidades de elementos como o P e metais pesados, como o Cu e Zn, presentes em altas concentrações no dejetto. Além disso, é importante que as áreas que recebem as aplicações de dejetto não apresentem declividades acentuadas, minimizando as transferências, por escoamento superficial, de elementos com potencial contaminante para mananciais de águas.

O sistema de cultivo adotado e as culturas utilizadas nas áreas que recebem aplicações sucessivas de dejetto podem influenciar na alteração de alguns atributos químicos do solo. Um exemplo disso são os incrementos observados nos teores de carbono orgânico no presente estudo, atingindo até 60 cm de profundidade (Tabela 6). Uma das explicações para esses resultados está no fato de que lavouras manejadas sem revolvimento do solo e utilizadas com culturas de grãos, onde não há a remoção dos restos culturais após a colheita, pode ocorrer o acúmulo de carbono orgânico nas camadas superficiais do solo, como observado por Bayer & Bertol (1999) e Falleiro et al. (2003). Além disso, as altas produções de matéria seca, que totalizaram 57,9, 92,1, 109,2 e 147,3 Mg ha⁻¹ para as doses de 0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹ de dejetto nos 19 cultivos realizados, favoreceram os incrementos e migração de carbono orgânico do solo.

Tabela 6 – Valores de carbono orgânico total em camadas de Argissolo submetido a 19 aplicações de doses de dejetto líquido de suínos, sob plantio direto.

Camada	Dose de dejetto, m ³ ha ⁻¹				Equação de regressão	R ²
	0	20	40	80		
cm	Carbono orgânico (g kg ⁻¹)					
0-2	15,75 a ¹	22,60 a ¹	24,63 a ¹	36,26 a ¹	Y= 8,920 + 6,356x	0,93*
2-4	12,12 b	17,12 b	19,01 b	24,40 b	Y= 8,480 + 3,873x	0,97*
4-6	9,83 c	13,82 c	14,73 c	18,61 c	Y= 7,435 + 2,725x	0,95*
6-8	9,08 c	12,35 d	12,09 d	15,91 d	Y= 7,300 + 2,023x	0,87*
8-10	8,23 d	11,27 d	10,65 e	13,95 e	Y= 6,890 + 1,654x	0,83*
10-12	7,84 d	10,42 d	10,53 e	12,88 e	Y= 6,610 + 1,523x	0,91*
12-14	8,03 d	10,42 d	10,15 e	11,58 f	Y= 7,450 + 1,038x	0,82*
14-16	7,52 d	10,10 d	10,17 e	11,70 f	Y= 6,720 + 1,261x	0,88*
16-18	8,15 d	10,07 d	10,40 e	12,04 f	Y= 7,165 + 1,200x	0,94*
18-20	7,55 d	10,25 d	10,35 e	13,55 e	Y= 5,900 + 1,810x	0,91*
20-25	7,21 d	9,67 d	10,63 e	13,98 e	Y= 5,055 + 2,127x	0,96*
25-30	8,52 d	11,12 d	11,63 d	13,77 e	Y= 7,195 + 1,626x	0,95*
30-35	9,90 c	10,22 d	11,63 d	13,71 e	Y= 8,155 + 1,284x	0,91*
35-40	9,15 c	9,85 d	11,07 e	13,42 e	Y= 7,365 + 1,403x	0,93*
40-50	8,10 d	9,50 d	9,36 f	12,36 f	Y= 6,670 + 1,264x	0,82*
50-60	6,43 d	7,20 e	8,39 g	11,04 f	Y= 4,510 + 1,502x	0,92*
CV, %	9,00	6,52	4,30	6,01		

¹ Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott ($\alpha = 0,05$); ns = não significativo a 5% de erro; * = significativo a 5% de erro.

Entretanto, em sistemas onde a matéria seca das culturas é retirada da superfície do solo, como por exemplo, em culturas utilizadas para silagem ou pastagens, pode haver redução nos teores de nutrientes no solo, como observado por Ceretta et al. (2003). Esses autores verificaram redução nos teores de K disponível, até a profundidade de 20 cm, em estudo realizado com 28 aplicações de 0, 20 e 40 m³ ha⁻¹ de dejetos em Alissolo Crômico sob pastagem natural durante quatro anos, justificando esses resultados pela exportação do K devido a retirada da vegetação da área experimental, realizada antes de cada aplicação de dejetos, para simular o pastejo dos animais. Essa justificativa também foi utilizada por Lloveras et al. (2004) para explicar a redução nos teores de K disponível em solo submetido a aplicações de dejetos durante dois anos e cultivado com alfafa na Espanha. Além disso, esses autores salientam que as quantidades de K adicionados via dejetos não foram suficientes para manter os teores no solo e compensar as exportações da alfafa.

Na intenção de sumarizar a discussão, pode-se perceber que as alterações observadas 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. No entanto, os resultados obtidos no presente trabalho não podem ser extrapolados para solos com características diferentes deste, uma vez que os atributos físico-químicos do solo se constituem em um dos principais fatores que afetam as alterações no solo.

Para a obtenção de resultados consistentes em relação aos efeitos dos dejetos nos atributos químicos do solo, são necessários estudos de longa duração, uma vez que os efeitos do dejetos nos atributos químicos do solo só se manifestam de maneira consolidada após sucessivas aplicações de dejetos. É importante ressaltar também, a necessidade da realização de estudos em diferentes tipos de solo e ambientes, isso porque, as informações existentes são oriundas de poucos tipos de solos e, embora os fenômenos se assemelhem, estes ocorrem em magnitudes diferentes dependendo das características do solo.

Devido ao fato da atividade suinícola estar inserida, predominantemente, em pequenas propriedades rurais, torna-se importante também, o estudo do efeito do dejetos no solo e ambiente no âmbito de microbacias hidrográficas. Isso porque, dentro de uma mesma microbacia hidrográfica, devido a oscilação do relevo, pode ocorrer diferentes tipos de solo, sendo que cada solo apresenta comportamento diferenciado em relação a capacidade de suportar aplicações sucessivas de dejetos líquido 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.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELI, A.; ROWE, D. E.; READ, J. J. Effects of soil type on bermudagrass response to broiler litter application. **Agronomy Journal**, v. 98, p. 148-155, 2006.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA PRODUTORA E EXPORTADORA DE CARNE SUÍNA – ABIPECS, 2009. Disponível em: <<http://www.abipecs.org.br>>. Acesso em 04 de agosto de 2010.

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

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

BERWANGER, A. L. **Alterações e transferências de fósforo do solo para o meio aquático com o uso de dejetos líquido de suínos**. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.

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.

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, 2005.

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.

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.

DAUDÉN, A.; QUÍLEZ, D.; VERA, M. V. Pig slurry application and irrigation effects on nitrate leaching in mediterranean soil lysimeters. **Journal Environmental Quality**, v. 33, p. 2290 – 2295, 2004.

EGHBALL, B. Soil properties as influenced by phosphorus-and nitrogen-based manure and compost applications. **Agronomy Journal**, v. 94, p. 128-135, 2002.

FALLEIRO, R. M. et al. Influência dos sistemas de preparo nas propriedades químicas e físicas do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1097-1104, 2003.

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

LLOVERAS, J. et al. Effect of swine slurry on alfalfa production and on tissue and soil nutrient concentration. **Agronomy Journal**, v. 96, p. 986-991, 2004.

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.

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.

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.

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

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

SHARPLEY, A. N., McDOWELL, R. W.; KLEINMAN, P. J. A. Amounts, forms, and solubility of phosphorus in soils receiving manure. **Soil Science Society of America Journal**, v. 68, p. 2048-2057, 2004.

SMITH, D. R. & MOORE JR, P. A. Soil extractable phosphorus changes with time after application of fertilizer: II. Manure from swine fed modified diets. **Soil Science**, v. 170, p. 640-651, 2005.

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.

WU, Z. & POWELL, J. M. Dairy manure type, application rate, and frequency impact plants and soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 71, p. 1306-1313, 2007.