

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS  
AGRÁRIAS  
MESTRADO EM MANEJO DO SOLO**

**CLEBER RECH**

**INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E ATRIBUTOS  
FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**

**LAGES, SC  
2013**

**CLEBER RECH**

**INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E ATRIBUTOS  
FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Manejo do Solo.

**Orientador:** Dr. Jackson Adriano Albuquerque

**Co-orientador:** Dr. Alvaro Luiz Mafra

**Co-orientador:** Dr. Milton da Veiga

**LAGES, SC  
2013**

R296i

Rech, Cleber

Injeção de dejetos líquidos de suínos e atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico/Cleber Rech. - 2013.  
87p. : il. ; 21 cm

Orientador: Jackson Adriano Albuquerque  
Coorientador: Alvaro Luiz Mafra  
Coorientador: Milton da Veiga  
Bibliografia: p. 70-86

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo, Lages, 2013.

1. Porosidade. 2. Estrutura do solo. 3. Incorporação de DLS. I. Rech, Cleber. II. Albuquerque, Jackson Adriano. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Manejo do Solo. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do  
CAV/UEDESC

**CLEBER RECH**

**INJEÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS E ATRIBUTOS FÍSICOS DE UM NITOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRRICO**

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina para a obtenção do título de Mestre em Manejo do Solo.

**Banca Examinadora**

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

Dr. Jackson Adriano Albuquerque  
Universidade do Estado de Santa Catarina

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

Dr. AlvaroLuiz Mafra  
Universidade do Estado de Santa Catarina

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

Dr. Milton da Veiga  
EPAGRI - Campos Novos

Membro: \_\_\_\_\_

Dr. Juliano Corulli Corrêa  
EMBRAPA - Concórdia

**LAGES, SC, 19 de setembro de 2013**

A toda a minha família, em especial a  
meus pais Delvo Rech e Lourdes S.  
Rech, pelo amor, ensinamentos,  
compreensão e apoio  
**DEDICO.**

Aos meus amigos, colegas e  
professores, que ajudaram a construir  
o conhecimento e a partir dele, este  
documento foi escrito,  
**OFEREÇO.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pelo dom da vida, por me dar força para concluir mais esta etapa de minha vida.

À Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC), ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), pela oportunidade de realização deste trabalho.

À CAPES e ao CNPq, pela concessão da bolsa e financiamento dos estudos.

À Embrapa Suínos e Aves, representada pelo pesquisador Dr. Juliano Corulli Corrêa, pela concessão da área, auxílio e apoio.

Ao professor-orientador Dr. Jackson Adriano Albuquerque agradeço muito pelos ensinamentos repassados e pela orientação, apoio, amizade e confiança depositados em mim durante esses dois anos de parceria e trabalho.

Ao comitê de orientação, Dr. Alvaro Luiz Mafra e Dr. Milton da Veiga, pelo apoio, sabedoria e amizade.

A equipe do Laboratório de Física e Manejo do Solo, que foi de fundamental importância pra a realização dos trabalhos de campo e laboratório; Maria Tereza, Maria Izabel, Heloísa, Adriano, Rúbia, Luiza, Bruno, Paulo Sérgio, Augusto, Oiel, Rodrigo, Franciani, Diego, Izabel.

Aos colegas e amigos dos demais laboratórios, em especial ao Gabriel, Marco, Antonio, Eduardo, Francisco e Bruna.

Aos amigos Edgar, Andre, Vanderlei, Leonardo, Diego, Heitor, Paulo, Tiago e Dionisio pela amizade e o apoio.

A Nathalia (Nathy) por dividir tantos momentos felizes e também de adversidade, pela força, amizade e companheirismo ao longo de tantos anos.

A meus colegas da "casa azul", Daniel, Fernando, Anderson e Eduardo, pelo companheirismo, amizade e compreensão nestes dois anos.

E a todos que de uma forma ou outra auxiliaram a alcançar mais um objetivo.

## RESUMO

RECH, Cleber. **Injeção de dejetos líquidos de suínos e atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférico**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) -Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC., 2013.

A produção de suínos tem aumentado ao longo dos anos para suprir a demanda mundial de alimentos devido ao aumento populacional. Decorrente do modelo intensivo de produção de suínos em confinamento e da concentração da atividade em áreas territoriais pequenas, predominantemente com relevo acidentado, ocorrem problemas ambientais pelo uso excessivo de dejetos líquidos de suínos (DLS) em lavouras de algumas regiões de Santa Catarina. Para minimizar estes problemas, foi desenvolvido um injetor de dejetos líquidos de suínos (IDLS). O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do método de aplicação de DLS e de ureia nos atributos físicos do solo manejado sob sistema de plantio direto. Os tratamentos utilizados foram: ureia injetada – abertura do sulco com o IDLS e aplicação de ureia distribuída manualmente; dejetos injetados – DLS injetado no sulco através do equipamento IDLS; dejetos em superfície – DLS aplicado em superfície, seguindo-se as linhas do IDLS; milho – semeado em plantio direto, usado como testemunha. Para as avaliações, foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm de profundidade, na linha de revolvimento (injetor ou semeadora) e nas entrelinhas. O IDLS e a semeadora de plantio direto mobilizam o solo na linha, o que aumenta a porosidade total, macro, bioporosidade e condutividade hidráulica saturada e diminui a densidade e microporosidade do solo. Não houve diferença nos atributos físicos do solo entre os tratamentos com DLS injetado, ureia injetada e dejetos em superfície.

**Palavras chave:** Porosidade. Estrutura do solo. Incorporação de DLS



## ABSTRACT

RECH, Cleber. **Injection of swine manure and physical attributes of an Dystrophic Red Nitosol**. 2013. Dissertação (Mestrado em Manejo do Solo) - Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias, Lages, SC., 2013.

The swine production has increased over the years to meet the global demand for food due to population growth. Resulting from the model of intensive swine production in confinement and concentration of activity in small territorial areas, predominantly uneven relief, environmental problem by excessive use of liquid swine manure(LSM) crops in some regions of Santa Catarina. To minimize these problems, we developed an injector for swine manure (ILSM). The objective of this study was to evaluate the effect of the method of application of LSM and urea in the soil physical properties managed under no-tillage system. The used treatments were: urea injected-sulcus opening with IDLs and application of urea distributed manually; manure injected-IM injected into the sulcus through the equipment ILSM; manure surface-MS applied to the surface rising up lines ISLM; corn-sown in no-tillage, used as the control. For the evaluation, samples were collected in the layers 0-10, 10-20 and 20 to 30cm deep, in grow (injector or seeder) and between the rows. The ILSM and sowing machine mobilize the soil row, which increases the total porosity, macro, bioporosity and saturated hydraulic conductivity and decreases the density and microporosity of the soil. There were no differences in soil physical properties between treatments with injected LSM urea and injected manure in the surface.

Keywords: Porosity. Soil structure. Incorporation of LSM.

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** Resultado das avaliação de DLS por Scherer et al. (1996)..... 28
- Tabela 2** Granulometria e área superficial específica (ASE) nas três camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférico em Concórdia - SC. .... 33
- Tabela 3** Análise química dos DLS provenientes da Embrapa Suínos e Aves..... 40
- Tabela 4** Umidade gravimétrica na camada de 0 a 20 cm por ocasião da aplicação dos tratamentos..... 65

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** Curva de compactação realizada pelo teste de Proctor Normal com amostra coletada na camada de 0 a 20 cm em Nitossolo Vermelho Distroférico em Concórdia - SC..... 33
- Figura 2** Precipitação na área do experimento no período de realização das operações para a semeadura do milho (outubro e novembro de 2012), determinados na estação meteorológica da Embrapa Suínos e Aves em milímetros..... 34
- Figura 3** Injetor de dejetos líquidos de suínos (a) e detalhe da linha responsável pela injeção (b)..... 37
- Figura 4** Visão traseira(a) e lateral (b) da semeadora utilizada no plantio do milho..... 39
- Figura 5** Posição de coleta das amostras (a) e detalhe da trincheira e da inserção dos anéis no solo (b)..... 42
- Figura 6** Carbono orgânico total de um Nitossolo Vermelho Distroférico após aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo. .... 47
- Figura 7** pH em água de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo. .... 49
- Figura 8** Diâmetro médio geométrico de agregados de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b)

e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre posições. .... 51

**Figura 9** Grau de floculação da argila em Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo. .... 53

**Figura 10** Densidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M). Na camada de 0 a 10 cm estão as médias dos tratamentos (a1) e da posição (a2); (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. .... 55

**Figura 11** Porosidade total de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a1)(a2) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas comparam posições de coleta. 56

**Figura 12** Volume de bioporo de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento. .... 58

**Figura 13** Volume de macroporos de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento. .... 60

**Figura 14** Volume de microporosidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento. .... 62

**Figura 15** Mapas de resistência mecânica à penetração em Nitossolo Vermelho Distroférico após a injeção de dejetos líquidos de suíno. DI: dejetos suíno injetados; Ureia: ureia injetada; DS: dejetos suíno em superfície; Milho: semeadura direta de milho. .... 64

**Figura 16** Resistência à penetração, determinada no campo, de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação dejetos suíno em superfície (DS); Milho: semeadura direta de milho; IDSL-0: Local exato da injeção da ureia ou dejetos; IDSL-1: 6 cm lateral a linha de injeção; IDSL-2: 12 cm lateral a linha de injeção; IDSL-3: 18 cm lateral a linha de injeção (entrelinha), avaliado na camada de 0 a 30. .... 67

**Figura 17** Resistência à penetração, determinada em laboratório, de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação dejetos suíno injetados (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. .... 69

**Figura 18** Condutividade hidráulica saturada em um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação dejetos suíno injetados (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a1)(a2) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas comparam posições de coleta. .... 70

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	16
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	18
2.1 OBJETIVO GERAL .....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>3 HIPÓTESES</b> .....	19
<b>4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	19
4.1 IMPORTÂNCIA DA ATIVIDADE SUINÍCOLA.....	19
4.2 USO DOS DEJETOS.....	21
4.3 PROBLEMAS AMBIENTAIS PELO USO DO DEJETO .....	22
4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS DEJETOS .....	24
4.5 INFLUENCIADOS DEJEOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO .....	26
4.6 INFLUENCIADOS DEJETOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO .....	27
4.7 CONSEQUÊNCIAS DA ADUBAÇÃO QUÍMICA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO.....	29
4.8 ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO PELO USO DO INJETOR E/OU SEMEADORA DE PLANTIO DIRETO.....	30
<b>5 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	32
5.1 LOCALIZAÇÃO E SOLO .....	32
5.2 CLIMA.....	34
5.3 HISTÓRICO DA ÁREA .....	34
5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E CRONOLOGIA DE ATIVIDADES .....	35
5.5 CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO .....	35
5.6 CARACTERÍSTICAS DA SEMEADORA.....	38
5.8 ADUBAÇÃO QUÍMICA.....	40
5.9 COLETA DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÕES DOS ATRIBUTOS DO SOLO .....	41
5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	46
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	46
6.1 CARBONO ORGÂNICO TOTAL E PH DO SOLO .....	46

6.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA (DMG) E GRAU DE FLOCULAÇÃO.....	49
6.3 DENSIDADE E POROSIDADE.....	53
6.4 CLASSES DE POROS.....	57
6.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO .....	62
6.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA.....	69
<b>7 CONCLUSÕES .....</b>	<b>71</b>
<b>8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo estudo realizado pelo governo Britânico e divulgado no relatório da "Food and Farming Futures" (2013), nos próximos 20 anos a população total do planeta chegará a oito bilhões de pessoas e a produção de alimentos deverá aumentar em 40% para atender a demanda. Somado a este aumento populacional, ocorre o aumento do poder aquisitivo da população, que eleva o consumo de carnes dos mais variados tipos, incluindo a carne suína.

O Brasil é um grande produtor e exportador de alimentos dos mais variados tipos, destacando-se nas exportações de carne bovina, suína e de frango. Segundo a ABIEC (2013), no ano de 2012 o Brasil exportou 1,52 milhão de toneladas de carne, com receita estimada de 5,77 bilhões de dólares. A carne suína possui uma grande importância nesses valores. No ano de 2012 as vendas do produto ao mercado externo totalizaram 581,5 mil toneladas, ou seja, aproximadamente um terço das exportações totais.

No sistema de produção de suínos mais utilizado atualmente, uma empresa (abatedouro) se instala em determinada região e incentiva a produção em sua volta. Devido aos altos custos do transporte rodoviário, predominantes no país o traslado de animais de regiões mais distantes para o abatedouro fica inviabilizada economicamente, de forma que a produção fica restrita a uma distância reduzida. No Oeste do Estado de Santa Catarina há uma grande concentração de abatedouros, onde também há o predomínio de relevo acidentado, que inviabiliza a agricultura de grande porte devido à dificuldade de mecanização das áreas. Assim, é uma região de pequenos agricultores que usam predominantemente mão-de-obra familiar, o que transforma a região em uma área propícia à produção de animais.

A produção de carne, leite e, de maneira menos expressiva, a de grãos, é a base da economia de boa parte das famílias de agricultores da região Oeste de Santa Catarina. A produção de carne suína é muito importante para a economia destas famílias, além de ter grande relevância na economia do estado. De forma geral, os agricultores utilizam o sistema de integração lavoura/pecuária, sendo que em muitas propriedades há a produção de gado de leite e corte, lavoura para produção de silagem ou grãos ou, ainda, pastagem, associada à produção de suínos. A junção de todas essas atividades é benéfica ao sistema, pois o esterco resultante da produção de animais pode ser utilizado como fertilizante nas culturas, forma de disposição final mais prática e barata e



uma das únicas possibilidades de descarte relativamente correto dos dejetos. No entanto, como a atividade suinícola está muito concentrada nessa região, a produção de esterco de suínos na forma de dejetos líquidos (DLS) está se transformando em um problema ambiental nas propriedades com pequena disponibilidade de área para aplicação dos dejetos.

Os principais problemas ambientais decorrentes da produção de DLS referem-se ao armazenamento em esterqueiras anaeróbicas ou em lagoas, onde há emissão de metano ( $\text{CH}_4$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ), além de maus odores, resultantes da fermentação de compostos nitrogenados por bactérias. Quando os dejetos são utilizados no campo, como fertilizantes, somam-se a esses problemas a possibilidade de contaminação das águas superficiais por nutrientes transportados por escoamento superficial, com destaque para metais pesados, fósforo (P) e o nitrogênio (N), além de microrganismos potencialmente patogênicos. Embora existam relativamente poucos resultados de pesquisa sobre o tema, pode-se formular a hipótese de que esses problemas decorrentes do uso agrícola dos dejetos sejam potencializados sob condições de plantio direto, onde os dejetos são aplicados sobre resíduos culturais, sem incorporação ao solo (DAMASCENO, 2010).

Outro problema de ordem ambiental refere-se à percolação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) no perfil do solo. Depois de aplicado ocorre a oxidação de N amoniacal dos dejetos para nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ). Este ânion não é fortemente adsorvido ao solo e, ocorrendo chuva de alta intensidade e/ou quantidade, pode ocorrer a lixiviação deste ânion para o lençol freático. Na água, se atingir níveis elevados, prejudica a saúde humana e animal (SINGH et al., 2008). Além disso, quando o solo tem baixa disponibilidade de oxigênio ( $\text{O}_2$ ), algumas bactérias transformam o ( $\text{NO}_3^-$ ) em óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), um gás como alto potencial de causar o efeito estufa. Desta forma, é importante um manejo adequado da aplicação de fontes de N ao solo, como o DLS (DAMASCENO, 2010).

O número estimado de suínos no Estado de Santa Catarina em 2013 é de aproximadamente sete milhões de cabeças (ABIEC, 2011). Considerando-se uma produção média de sete litros de dejetos por animal por dia (OLIVEIRA, 1993), chega-se ao valor de 49 milhões de litros de DLS por dia no estado, ou 17,9 milhões de metros cúbicos de dejetos por ano. Desta forma, é importante o uso adequado desse dejetos como fertilizante para as culturas, para não resultar em sérios problemas ambientais decorrentes do seu uso em lavouras.

Com base nos valores expressivos da atividade suinícola, não apenas em SC mas também em todo o Brasil, e da necessidade de mitigar a emissão de gases de efeito estufa (GEE), reduzir os problemas ambientais e fazer bom uso dos dejetos como fertilizante nas propriedades, a Universidade de Passo Fundo (UPF) desenvolveu, em parceria com a empresa MEPEL Máquinas e Equipamentos Ltda., um equipamento para a injeção dos dejetos líquidos de suínos no solo.

Há um grande número de estudos sobre as vantagens e/ou desvantagens da aplicação de DLS na superfície ou incorporado ao solo quanto às questões ambientais envolvidas, bem como as vantagens no aproveitamento dos nutrientes presentes nos dejetos para a fertilização. Porém, ainda são escassos no Brasil estudos para avaliar a influência da injeção de dejetos líquidos de suínos sobre os atributos físicos do solo, principalmente quando manejado sob plantio direto.

Desta forma, foram avaliados os atributos físicos do solo decorrentes da utilização injetor de DLS, da incorporação de dejetos ou ureia e da semeadora de plantio direto, em sistema de plantio direto.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Avaliar o efeito da aplicação superficial e injetada no solo de dejetos líquidos de suínos e ureia nos atributos físicos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob plantio direto.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- 1- Avaliar as alterações físicas do solo pelo uso do injetor de dejetos líquidos de suínos;
- 2- Avaliar o efeito da incorporação de dejetos líquidos de suínos e da ureia nas propriedades físicas do solo;
- 3- Comparar o efeito da semeadora de plantio direto com o injetor de dejetos líquidos de suínos.

### 3 HIPÓTESES

- a) O injetor de dejetos líquido de suínos e a semeadora de plantio direto mobilizam o solo na linha e alteram os atributos físicos do solo;
- b) A injeção de dejetos líquido de suínos e de ureia na dosagem recomendada não altera as propriedades físicas do solo;
- c) Não há diferença entre o injetor de dejetos líquido de suínos e a semeadora de plantio direto sobre os atributos físicos do solo.

### 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Tradicionalmente a suinocultura, juntamente com a bovinocultura de leite, têm se revelado como atividades adaptadas às condições das pequenas propriedades familiares do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, por permitirem uma produção intensiva em pequenas áreas e estar presente na maioria das propriedades (DALLA COSTA et al., 2002).

#### 4.1 IMPORTÂNCIA DA ATIVIDADE SUINÍCOLA

A suinocultura brasileira apresenta importância no cenário mundial, não somente pela sua dimensão em quantidade e qualidade, mas também pelo aumento exponencial de sua produtividade ao longo das últimas três décadas.

Fazendo um apanhado histórico geral desta atividade no Brasil nos últimos 30 anos, Faccin (2000) identificou o início do processo chamado atualmente de integração, que consiste na parceria do abatedouro com o produtor. A integração foi uma alternativa encontrada pela indústria para obter constância e uniformidade de fornecimento dos animais, nessa época produzida em unidades de pequeno porte. Segundo o autor, na Região Sul do Brasil (SC, RS e PR), durante a década de 80 verificou-se um reforço nos sistemas de integração, dando início à implantação de unidades de grande porte, incentivadas pelas empresas de melhoramento genético que começavam sua operação no país. Nesse período, foi crescente a preocupação com a qualidade, ocorrendo uma mudança no sistema de produção caracterizada pela implantação do sistema de confinamento, que elevou a produtividade suinícola. Na década de 1990 surgiram os sistemas verticalizados de produção,

organizados pelas grandes agroindústrias e cooperativas. Faccin (2000) descreve essa década como a que marca a entrada de empresários rurais na atividade, mudando o perfil da suinocultura, que até então era uma atividade unicamente familiar de subsistência, para uma atividade tipicamente empresarial.

Atualmente no estado de Santa Catarina a suinocultura representa uma das principais atividades agrícolas de importância econômica e social (OLIVEIRA, 1993). De acordo com a Associação Catarinense de Criadores de Suínos (ACCS, 2011), a importância dessa atividade consiste não só no grande contingente de produtores envolvidos, mas também pelo volume de empregos gerados direta e indiretamente no processo industrial. Isso a posiciona como a atividade de maior importância no produto interno agrícola estadual, com participação de 23% (ICEPA, 2005). Ainda segundo a ACCS (2013), o Estado conta com oito mil suinocultores alocados em propriedades familiares localizadas em regiões de topografia acidentada, o que acarreta maiores dificuldades para disposição final dos dejetos.

Estes valores expressivos da suinocultura são consequência de anos de melhoramento genético, tanto por parte de empresas particulares como por instituições de pesquisa como, por exemplo, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) através do Centro Nacional de pesquisa de suínos e Aves. Além disso, o emprego de novas tecnologias nas instalações, melhoria na alimentação e bem estar dos animais e, não menos importante, os esforços contínuos por parte dos agricultores, induziram ao sucesso dessa atividade.

Porém, a intensificação de qualquer atividade em uma área territorial relativamente pequena gera, por consequência, algum tipo de impacto ambiental. No caso da atividade suinícola esta realidade também é constatada, sendo que o principal material de descarte das granjas é o dejetos líquido de suínos. Este problema é agravado quando há um manejo inadequado dos dejetos, tanto pela sua disposição direta nos cursos de água como pela aplicação de doses acima da capacidade de reciclagem do solo, principalmente quando o DLS é aplicado superficialmente.

## 4.2 USO DOS DEJETOS

A necessidade de aumentar a produção de alimentos em nível mundial tem conduzido ao uso crescente de modelos intensivos, tanto no tocante ao uso do solo como à criação de animais. Nos estados do Sul do Brasil observa-se uma crescente concentração da bovinocultura de leite e, principalmente, da suinocultura em algumas regiões, acarretando em aumento no número de unidades animais por unidade de produção e, conseqüentemente, redução proporcional da área disponível para disposição final dos dejetos. Estes sistemas de produção, principalmente para suínos, propiciam elevada produção de dejetos líquidos, gerando problemas de manejo, armazenamento, distribuição e conseqüente poluição ambiental.

Outra característica da suinocultura é seu crescimento em regiões com relevo acidentado, o que implica em disponibilidade restrita de área onde a sua distribuição pode ser feita mecanicamente e, pela aplicação continuada de dejetos e manejo inadequado do solo, essas áreas encontram-se fortemente impactadas, o que limita a expansão sustentável da suinocultura na maioria das propriedades dedicadas a essa atividade. Há, também, a preocupação quanto ao acúmulo de alguns elementos químicos no solo, como cobre e zinco, que pode advir depois de muitos anos de aplicação desses fertilizantes em grandes quantidades na mesma área (SEGANFREDO, 1999). Este problema é agravado se o dejetos for aplicado na superfície do solo, concentrando os elementos químicos nos primeiros centímetros do solo e elevando o potencial de transporte destes elementos para outras áreas através da enxurrada.

Porém, com manejo adequado, os dejetos podem ser utilizados como fertilizante de alta qualidade para as culturas, em especial para aquelas que possuem uma demanda elevada de nitrogênio, como é o caso da maioria das gramíneas. Vale ressaltar que o manejo correto dos esterco animais possibilita, também, a recuperação de áreas degradadas, uma vez que o dejetos poderá melhorar atributos do solo ao longo do tempo de aplicação, agindo como condicionador do solo (ANDRADE, 2013).

A aplicação de dejetos em áreas agrícolas, ao longo do tempo, pode elevar os estoques de carbono orgânico, usualmente chamado de matéria orgânica do solo (MOS). A importância da MOS para os diversos processos físicos, químicos e biológicos no solo é amplamente conhecida no meio científico, especialmente na área de ciências do solo. A MOS exerce funções relacionadas com a ciclagem e retenção de

nutrientes, agregação do solo, retenção da água no solo e é fonte básica de energia para a atividade biológica (ROSCOE et al., 2006).

O solo é considerado como um sistema aberto, o qual está em constante troca de energia e matéria com o ambiente de entorno (ADISCOTT, 1995), de forma que o fluxo de energia no solo se desenvolve pela interação entre os fatores do material de origem, clima, relevo, organismos e tempo. O conteúdo de matéria orgânica de um solo sem interferência antrópica, como as áreas de vegetação natural, revela um sistema estabilizado quanto às entradas e saídas de energia e matéria. Por outro lado, em sistemas de cultivo há uma aceleração na ciclagem de nutrientes e oxidação da matéria orgânica, de forma que a aplicação de DLS auxilia na adição de MO ao longo do tempo, o que é benéfico ao solo.

#### 4.3 PROBLEMAS AMBIENTAIS PELO USO DO DEJETO

A atividade suinícola é considerada pelos órgãos de fiscalização e proteção ambiental como atividade de grande potencial poluidor, devido ao elevado número de contaminantes contidos nos seus dejetos, cuja ação individual ou combinada representa uma fonte potencial de contaminação e degradação do ar, dos recursos hídricos e do solo (OLIVEIRA et al., 2013).

O manejo inadequado do DLS causa problemas ambientais e este quadro apresenta-se desde o armazenamento dos dejetos na forma líquida, em lagoas e em esterqueiras anaeróbias, passando pela emissão para a atmosfera de metano ( $\text{CH}_4$ ) e amônia ( $\text{NH}_3$ ), além de maus odores resultantes da fermentação de compostos nitrogenados por bactérias (SEGANFREDO, 1999).

A forma mais utilizada para descarte destes dejetos é o uso como fonte de nutrientes em áreas agrícolas. Quando este processo é realizado há possibilidade de contaminação das águas de superfície, como rios e lagos, por nutrientes transportados por escoamento superficial quando ocorrem chuvas intensas. Os principais íons potencialmente transportados são o fósforo (P) e o nitrogênio (N), por estarem presentes em maior quantidade, mas também podem ser transportados microrganismos potencialmente patogênicos (CASTAMANN, 2005).

Outro potencial problema refere-se à aplicação, no solo, de qualquer fonte de N, não apenas na forma de dejetos, pois este é transformado rapidamente em nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), uma forma mineral

altamente móvel no solo. No caso do DLS, pode ocorrer contaminação ambiental pela rápida taxa de oxidação do N amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) para  $\text{NO}_3^-$ , após a sua aplicação no solo. O  $\text{NO}_3^-$ , em função de o solo apresentar predomínio de cargas negativas, apresenta baixa adsorção ao complexo de troca do solo e pode ser transportado aos mananciais de água tanto superficiais como subterrâneas. Dependendo de seu teor no solo e das condições edafoclimáticas, a concentração de  $\text{NO}_3^-$  na água poderá atingir níveis elevados e ser prejudicial à saúde humana e animal (SINGH et al., 2008).

Outra potencial consequência de repetidas aplicações de grandes quantidades de DLS na mesma área é o acúmulo de P no solo, uma vez que as plantas não são capazes de absorver as quantidades aplicadas através dos dejetos. Quanto maiores as quantidades de fósforo acumulado no solo, maiores são os riscos de perdas desse elemento por erosão e lixiviação (SEGANFREDO, 2001).

Além disso, em condições de baixa disponibilidade de oxigênio no solo, as bactérias utilizam o  $\text{NO}_3^-$  como receptor final de elétrons durante a respiração, reduzindo-o a formas gasosas de N, entre as quais o óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), um gás de efeito estufa (GEE) com um potencial de aquecimento global 296 vezes superior ao  $\text{CO}_2$  (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006). A magnitude da contaminação ambiental provocada pelo  $\text{NO}_3^-$ , aplicado através dessas diferentes vias, está diretamente relacionada à disponibilidade do  $\text{NO}_3^-$  no solo. Por isso, é importante adequar as quantidades de N adicionadas ao solo, através de fertilizantes orgânicos e/ou minerais, à demanda em N pelas culturas (DAMASCENO, 2010).

Os GEEs refletem a radiação infravermelha emitida pela superfície do planeta, impedindo sua difusão para o espaço e a perda demasiada de calor, mantendo o planeta aquecido. Esse fenômeno é natural, entretanto, o incremento desses gases pela intensificação das atividades humanas, como é o caso do  $\text{N}_2\text{O}$  citado anteriormente, pode ocasionar o chamado de efeito estufa antropogênico (IPCC, 2007).

Outros dois GEEs emitidos a partir de solos são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o metano ( $\text{CH}_4$ ), produzidos na degradação do carbono da MOS adicionada através de resíduos vegetais ou animais. O metabolismo oxidativo aeróbio do substrato orgânico pelos microrganismos do solo é o responsável pela geração de  $\text{CO}_2$  como produto final, enquanto o  $\text{CH}_4$  constitui-se no produto final do metabolismo anaeróbio (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006).

Devido ao grande volume de dejetos produzidos, há preocupação por parte dos pesquisadores com relação ao seu potencial poluidor quando aplicados ao solo. Os resultados de pesquisas recentes demonstram que as perdas de elementos poluidores para o ambiente são menores quando os dejetos são incorporados ao solo (TAO et al., 2008). Porém, no sistema plantio direto (SPD), um sistema de manejo conservacionista amplamente difundido na região produtora de suínos, tem como um dos fundamentos o não revolvimento do solo, o que impede a incorporação de dejetos e outros materiais ao solo. Em função disso, iniciaram-se estudos sobre a injeção dos dejetos líquidos no solo, resultando na redução das perdas de N por volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) em relação à aplicação superficial (DENDOOVEN et al., 1998; WEBB et al., 2010; DAMASCENO, 2010).

Giacomini (2005) observou redução de 78% nas perdas por volatilização de  $\text{NH}_3$  com a incorporação do DLS ao solo em relação à aplicação dos dejetos sobre os resíduos culturais, sem incorporação. Constatou, também, que a alta concentração de  $\text{N-NH}_4$  na camada superficial do solo, observada logo após a aplicação do DLS, é a principal causa das elevadas taxas de perdas de  $\text{NH}_3$ . Por outro lado, a incorporação do  $\text{N-NH}_4$  dos dejetos ao solo diminui a difusão do  $\text{NH}_3$  para a atmosfera, uma vez que ocorre redução da temperatura e da ação do vento sobre o material aplicado. A perda de N por volatilização de amônia é bastante variável em solo adubado com DLS, representando de 5 até 75% do  $\text{N-NH}_4$ . Essa ampla variação deve-se a inúmeros fatores, principalmente a composição físico-química dos dejetos e do solo, além das condições climáticas predominantes em cada situação (PORT et al., 2003). Para avaliações mais detalhadas no âmbito dos atributos do solo, é de extrema importância o conhecimento das características dos DLS e sua influência no solo.

#### 4.4 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS DEJETOS

Os DLSs possuem características bem distintas. A variação de seus constituintes esta associada ao sistema de manejo adotado e aos aspectos nutricionais, apresentando grandes variações na concentração dos seus elementos entre produtores e dentro da própria granja (PERDOMO et al., 2001).

As principais características químicas dos DLSs são seu conteúdo de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, manganês, ferro, zinco, cobre e outros elementos



incluídos nas dietas dos animais (DIESEL et al., 2002). Geralmente apresentam baixos teores de matéria seca, situando-se em torno de 3 a 5% (PERDOMO e LIMA, 1998).

Com relação às características físicas, os dejetos geralmente são líquidos, por se constituírem em uma mistura de fezes, urina, água de lavação das instalações e sobras de alimentos. O sistema de produção utilizado em cada granja é que define o grau de diluição dos dejetos e suas características físico-químicas. O sistema de distribuição de ração e de água, o sistema de baias e de limpeza das instalações, determinam as características e o volume total dos dejetos produzidos (DARTORA et al., 1998). Assim, a caracterização física do dejetos é complexa, podendo ser sólida, líquida ou pastosa e variar consideravelmente em concentração e biodegradabilidade em função do tipo de exploração e do plano de alimentação (CAZARRÉ, 2001). Da mesma forma, o volume de dejetos produzidos em uma granja varia de acordo com o tipo de granja (ciclo completo, unidade produtora de leitões, unidade de terminação) e com o nível de diluição dos dejetos (CASTAMANN, 2005).

Em pesquisa realizada por Scherer et al. (1996), em 118 amostras de DLS coletadas em oito municípios representativos da região Oeste de Santa Catarina, foi observado que o teor médio de matéria seca foi de 3%. Em geral, as amostras com teor mais baixo de matéria seca, apresentaram baixa concentração de nutrientes, o que diminui seu valor fertilizante.

Porém, ao longo dos anos, os sistemas vêm sendo modernizados para aperfeiçoar a produção, principalmente a fim de economizar água e alimentos, de forma que há uma tendência para um dejetos mais pastoso, com maiores teores de matéria seca. Outro aspecto que deve ser considerado é o fato dos distribuidores de dejetos não serem adaptados para soluções com maiores teores de sólidos.

Tecnologias avançadas devem ser empregadas nos distribuidores de dejetos líquidos, em função de que o custo para a distribuição dos dejetos na lavoura é elevado e o transporte de dejetos diluídos em maior volume de água restringe ainda mais a distância entre o depósito (esterqueira) e a área a ser fertilizada com viabilidade para distribuição.

#### 4.5 INFLUENCIADOS DEJETOS NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

É de conhecimento corrente que as principais alterações físicas de origem não mecânica para um mesmo solo são decorrentes principalmente de aumento ou diminuição dos teores de MOS e alterações de pH, ou a combinação de ambos os fatores. A alteração destes dois atributos modifica a estrutura do solo em determinadas situações.

A matéria orgânica tem grande importância no solo, influenciando todas as propriedades do solo e constituindo componente fundamental da sua capacidade produtiva. A manutenção ou recuperação dos teores de matéria orgânica e da capacidade produtiva do solo pode ser alcançada pelo uso de métodos de preparo com pequeno ou nenhum revolvimento, pela adição de dejetos e por sistemas de cultura com grande adição de resíduos, resultando, respectivamente, em menores taxas de perda e maiores taxas de adição de matéria orgânica ao sistema solo (BAYER e MIELNICZUK, 1999).

A MOS, atua como uma espécie de ligante entre as partículas do solo e, reciprocamente, a agregação beneficia a proteção da MOS. A formação dos macroagregados, através da aproximação dos microagregados pela ação de raízes e hifas de fungos, intensifica a agregação. Segundo Andrade (2013), em solos altamente intemperizados a MOS, juntamente com as argilas, contribui para melhorar a agregação e estrutura do solo. A adoção do plantio direto melhora tanto quantitativa quanto qualitativamente a MOS. Estudos têm mostrado que o aumento no estoque de carbono no solo está diretamente relacionado com a quantidade de resíduos adicionados (RASMUSSE et al., 1980), incluindo os dejetos de animais (HARTWIG e AMMON, 2002). Estudos apontam para um aumento nos teores de carbono orgânico no solo com aplicação de esterco de animais (BARILLI, 2005; HATI et al., 2006; GONG et al., 2009).

Segundo Santos e Camargo (1999), a principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação. A partir do seu efeito sobre a agregação do solo, indiretamente são afetadas as demais características físicas do solo, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção e de infiltração de água, entre outras, que são fundamentais à capacidade produtiva do solo.

Castro Filho e Costa (2003) observaram alterações de características físicas do solo com a aplicação de DLS e simulação de

chuva, em área de plantio direto. Esses autores constataram um aumento na infiltração da água no solo de 36 a 83% com a aplicação de 30 a 120  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  de DLS. Verificaram ainda, que os maiores índices de estabilidade dos agregados foram encontrados nas doses de 30 e 60  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ .

Mello et al. (2004) avaliando o uso de biossólido em um Latossolo Vermelho distrófico de textura média, observou que doses de 50  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  reduza densidade do solo, porém apenas na camada de 0 a 10 cm. Avaliando o uso de composto e de esterco na retenção de água pelo solo, Celik et al. (2004) observaram aumento na porosidade, condutividade hidráulica e retenção de água e diminuição na densidade do solo.

Por outro lado Dortzbach (2009), avaliando a aplicação de 30 a 90  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$  de DLS em Argissolo Vermelho-Amarelo manejado em sistema de plantio direto, não observou diferenças significativas na densidade do solo, porosidade total, macroporosidade e microporosidade após cinco anos da implantação do experimento.

#### 4.6 INFLUENCIADOS DEJETOS NOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO

Segundo Castmann (2005), os dejetos líquidos de suínos podem ser utilizados como fonte de nutrientes para as plantas e para melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, porém, exige conhecimentos e planos específicos de uso para cada situação. Para isso, é fundamental a elaboração de um plano técnico de manejo e adubação considerando, ainda, a área a ser utilizada, a fertilidade e o tipo de solo e as exigências nutricionais da cultura a ser implantada (PERDOMO et al., 2001).

Os dejetos líquidos de suínos apresentam quantidades variáveis de macro e micronutrientes, dependendo basicamente do teor de massa seca (PAVINATO et al., 2000). Em avaliações feitas em 118 amostra de DLS provenientes de esterqueiras e biodigestores, Scherer et. al. (1996) encontrou valores pH, matéria seca, N, P e K conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1** Resultado das avaliação de DLS por Scherer et al. (1996).

pH	Mat. Seca (%)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
			----- kg m <sup>-3</sup> -----	
7.4	3	3.4	0.9	2

Pesquisas indicam que os dejetos se constituem num ótimo fertilizante e pode substituir em parte ou integralmente a adubação mineral, dependendo dos teores dos nutrientes no solo, dos propósitos do agricultor e, principalmente, da cultura a ser implantada. O uso de DLS é comum em culturas anuais, como feijão e milho, as quais são normalmente cultivadas em regiões de minifúndio e onde paralelamente se desenvolve a suinocultura (TISOTT et al., 1997).

Scherer (1998) avaliando a aplicação de N nas dosagens de 0, 60 e 120 kg ha<sup>-1</sup> na forma de DLS incorporado, DLS superfície e aplicação de ureia por três anos em Cambisol e em Latossolo, não observou diferenças significativa na aplicação de DLS incorporado ou em superfície quanto a produtividade de milho. Porém, para uma mesma quantidade de N aplicada, a adubação com ureia promoveu maior rendimento de grãos de milho que o DLS.

Por outro lado, com tratamentos que incluíam adubação mineral, adubação mineral mais resíduos vegetais e uma combinação de adubo mineral (N+P) com esterco de suíno, Zhao et al. (2009) observaram maior rendimento de grãos no tratamento com esterco de suíno em relação ao demais na média dos 25 anos de condução do experimento, comprovando a melhoria química do solo.

O DLS apresenta altas concentrações de nitrogênio e, após o seu armazenamento sob condições anaeróbias, a maior proporção do N é encontrada na forma amoniacal. Ao mesmo tempo, o N constitui-se no elemento que mais limita o desenvolvimento das culturas, principalmente das gramíneas. A quantidade de N mineral no solo aumenta com o uso de DLS (PORT, 2002), evidenciando o elevado potencial deste material orgânico como fonte de nitrogênio para as culturas.

A aplicação de dejetos promove maior disponibilidade de nitrogênio e fósforo para as culturas, tanto em sistema convencional como em plantio direto, fato evidenciado por vários autores (KONZEN, 2000; CERETTA et al., 2003; SCHERER et al., 2007; CERETTA et al.,

2005; BERWANGER et al., 2008), de forma que sua importância para nutrição de plantas é bem conhecida.

Segundo Bayer e Mielniczuk (1999), a partir da aplicação dos dejetos ocorre a formação de complexos dos micronutrientes com compostos orgânicos (quelação), o que reduz a possibilidade da sua precipitação como óxidos no solo. Dessa forma, a complexação do zinco e do cobre por ácidos orgânicos de baixo peso molecular aumenta a sua disponibilidade, pois o quelato torna-se uma forma de depósito temporário desses elementos no solo. A meia-vida muito curta do quelato, decorrente da rápida decomposição do composto orgânico pelos microrganismos, resulta na liberação de forma contínua e gradativa dos micronutrientes importantes para o adequado desenvolvimento de plantas.

Estudando o efeito da aplicação de dejetos líquidos em pastagem natural, Vieira et al. (2000) observou aumento nos teores de fósforo, manganês, cobre e zinco do solo e redução nos teores de alumínio devido à complexação deste por ácidos húmicos e fúlvicos da matéria orgânica, que são muito reativos e aumentam significativamente com a aplicação de DLS ( $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Avaliando o potencial fertilizante dos dejetos líquidos de suínos na cultura do milho em plantio direto, Chiapinotto et al. (2000) constataram acúmulo de macronutrientes (N, P e K) na planta e aumento na massa seca e no rendimento de grãos, proporcionalmente ao aumento nas doses de dejetos utilizadas.

#### 4.7 CONSEQUÊNCIAS DA ADUBAÇÃO QUÍMICA NOS ATRIBUTOS FÍSICOS DO SOLO

Há poucos estudos mais aplicados quanto às alterações nos atributos físicos do solo pelo uso de fertilizantes químicos. Pode-se formular a hipótese que a adubação nitrogenada pode acelerar a decomposição da matéria orgânica pela nutrição de bactérias no solo, da mesma forma que acontece com aplicação de nitrogênio pelos dejetos, conforme descrito no item 3.5 deste trabalho. Entretanto, no caso da aplicação de dejetos, a sua própria matéria seca mantém os teores de MOS, o que deve ocorrer em casos específicos e ao longo dos anos.

No solo, a nitrificação é um dos processos importante para a disponibilização de N para as plantas. Um aspecto a ser considerado é que neste processo são liberados dois prótons ( $\text{H}^+$ ) para cada molécula de amônio nitrificada, o que confere um caráter acidificante ao processo. Sendo assim, quando altas quantidades de fertilizantes amoniacais são

adicionadas, mesmo quando incorporados na linha de semeadura, pode ocorrer redução do pH ao longo do tempo, principalmente em solos arenosos ou de baixo poder tampão nos quais haja intensa lixiviação de nitrato. Em solos argilosos e com altos teores de matéria orgânica, esse efeito acidificante é pouco significativo, principalmente quando a lixiviação de nitrato for pequena (ERNANI, 2008).

A aplicação de fertilizantes químicos concentrados na linha de semeadura, promove alterações na concentração de íons localmente e possíveis alterações no pH. Destaca-se a hidrólise da ureia, que promove um aumento localizado no pH nos primeiros dias após sua aplicação (OUYANG et al., 1998), o que altera a proporção entre cargas negativas e positivas do solo, podendo interferir na floculação e na agregação das partículas e, desta forma, alterar as propriedades físicas do solo.

#### 4.8 ALTERAÇÕES FÍSICAS DO SOLO PELO USO DO INJETOR E/OU SEMEADORA DE PLANTIO DIRETO

O injetor de DLS possui características semelhantes as de uma semeadora de plantio direto, principalmente quanto às linhas de injeção, de forma que, a priori, as alterações em nível de campo podem ser equivalentes. Ambos os equipamentos foram desenvolvidos com a finalidade de preservar o sistema de plantio direto (SPD), que tem como objetivo reduzir a degradação do solo através da redução do revolvimento e manutenção dos resíduos vegetais na superfície do solo (LAL & GREENLAND, 1979).

A combinação da menor mobilização e a permanência dos resíduos vegetais parcialmente decompostos na superfície diminui a evaporação de água e aumenta os teores de matéria orgânica, a infiltração e a retenção de água no solo (BEN-HUR et al., 1999). Porém, quando o plantio direto é realizado sem rotação de culturas e/ou quando o tráfego de máquinas é realizado com elevada umidade do solo, observa-se aumento do estado de compactação na camada superficial do solo (ALBUQUERQUE et al., 1995; SILVA, 2003). No entanto, o revolvimento do solo apenas na linha de semeadura associado ao tráfego de máquinas neste sistema, pode ocasionar a compactação ao longo do tempo (TORMENA et al., 1998). A compactação do solo, além de alterar a disponibilidade de água e nutrientes para as plantas, em função da alteração do tamanho de poros, atua nos fatores de crescimento como temperatura, aeração, resistência à penetração das raízes e taxa de infiltração de água (LETEY, 1985; REICHERT et al., 2007).

Em geral, o efeito de mecanismos sulcadores na linha de semeadura, refere-se a aumento da porosidade total e, por consequência, diminuição da densidade do solo e da resistência mecânica à penetração de raízes (CORRECHEL et al., 1999; SILVA et al., 2003), especialmente na linha de semeadura (VEIGA et al., 2007).

Em experimento com plantio direto e convencional em Latossolo Roxo, Corsini e Ferraudo (1999) observaram que o sistema convencional apresentou maior porosidade total e menor densidade na camada superficial em comparação ao plantio direto e atribuíram este efeito ao revolvimento do solo no sistema convencional. Os mesmo autores avaliaram na linha de semeadura do milho e verificaram que o sistema radicular auxilia na melhoria dos atributos físicos do solo em plantio direto.

Há inúmeros trabalhos relatando efeitos do sistema de plantio direto e do preparo convencional, comparados entre si ou com sistemas naturais (mata nativa ou campo nativo), nos atributos químicos e físicos do solo. Porém, são raros em literaturas nacionais estudos sobre os efeitos imediatos na estrutura do solo na faixa de ação de mecanismos sulcadores.

Costa et al. (2003) avaliaram o efeito ao longo de 21 anos de sistemas de preparo convencional (PC) e plantio direto (PD) nas propriedades físicas de um Latossolo Bruno Alumínico Câmbico. Os autores concluíram que o sistema de preparo convencional degradou as propriedades relacionadas com a forma e com a estabilidade da estrutura do solo em relação à mata nativa, indicadas pelo aumento da densidade do solo e da resistência do solo à penetração e pela diminuição da estabilidade de agregados. De acordo com os autores, o solo em PD apresentou melhores condições estruturais, evidenciadas principalmente pela redução da densidade do solo em subsuperfície e pelo aumento da estabilidade de agregados na camada superficial do solo. O solo sob PD apresentou, também, menor temperatura e maior umidade volumétrica na camada superficial do que o solo sob PC.

Uma das principais características da suinocultura é sua vinculação à produção milho na mesma propriedade, tanto pelo uso de dejetos como fertilizantes como por serem geralmente áreas de topografia acidentada, onde o cultivo de soja fica inviabilizado pela impossibilidade de mecanização. Nessas áreas há um predomínio de lavouras manejadas em PD. Nesse sistema, os dejetos são aplicados sobre os resíduos culturais, sem incorporação ao solo, o que potencializa

os problemas de contaminação do ar por emissões gasosas e da água por nutrientes e microrganismos presentes no DLS.

Neste sentido, pelas vantagens ambientais e químicas, bem como pela manutenção do solo sem revolvimento quando manejado em PD, o injetor de dejetos líquidos de suínos (IDSL) pode ser uma alternativa tecnológica interessante para a manutenção da atividade suinícola nas regiões de maior concentração dessa atividade.

Atualmente muito tem se pesquisado sobre a influência do IDSL na redução da emissão de gases e melhoria na área de fertilização. No entanto, ainda há carência de estudos para avaliar as alterações dos atributos físicos do solo pelo uso deste equipamento. Neste sentido, este trabalho objetivou avaliar o efeito do método de aplicação de ureia e de DLS nas propriedades físicas do solo manejado sob sistema de plantio direto.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 LOCALIZAÇÃO E SOLO**

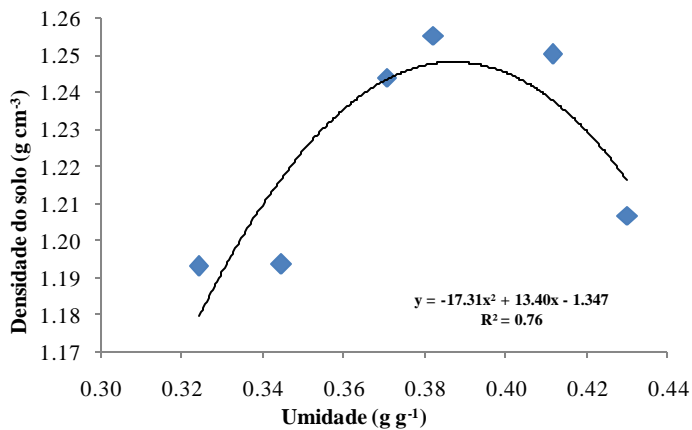
Foi realizado um experimento a campo, no período de outubro de 2012 a abril de 2013, na área experimental da Embrapa Suínos e Aves, no município de Concórdia, SC. A área com 70 m de comprimento por 50 m de largura situa-se a 548 m de altitude, 27°18'48"S de latitude e 51°59'34"O de longitude, apresentando relevo suave ondulado. O solo é derivado de basalto e possui textura muito argilosa (Tabela 2), classificado com um Nitossolo Vermelho Distroférico (Embrapa, 2006). O solo possui área superficial específica (ASE) média de 167 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> (Tabela 2), densidade do solo máxima de 1,25 g cm<sup>-3</sup> e umidade ótima de compactação de 0,39 g g<sup>-1</sup> (Figura 1).



**Tabela 2** Granulometria e área superficial específica (ASE) nas três camadas avaliadas do Nitossolo Vermelho Distroférico em Concórdia - SC.

Camada	Fração granulométrica			ASE
	Argila	Silte	Areia	
cm	----- g kg <sup>-1</sup> -----			m <sup>2</sup> g <sup>-1</sup>
0 - 10	623	306	69	133
10 - 20	677	272	49	190
20 - 30	711	244	44	177

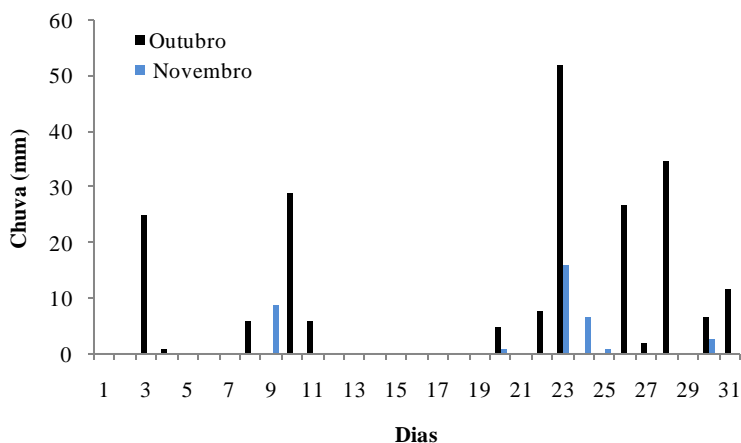
**Figura 1** Curva de compactação realizada pelo teste de Proctor Normal com amostra coletada na camada de 0 a 20 cm em Nitossolo Vermelho Distroférico em Concórdia - SC.



## 5.2 CLIMA

O clima é do tipo subtropical úmido com verões quentes, do tipo Cfa segundo a classificação de Köppen (PANDOLFO et al., 2002). Segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Suínos e Aves possui precipitação pluvial média anual de 1.853 mm e a temperatura média anual de 20°C. A Figura 2 mostra a precipitação nos meses de implantação/coleta (de 15 de outubro a 12 de novembro).

**Figura 2** Precipitação na área do experimento no período de realização das operações para a semeadura do milho (outubro e novembro de 2012), determinados na estação meteorológica da Embrapa Suínos e Aves.



## 5.3 HISTÓRICO DA ÁREA

Antes da instalação do experimento a área se encontrava há sete anos em pousio, com pastagem nativa de azevém (*Lolium multiflorum*) durante o inverno e grama bermuda (*Cinodon sp.*) no verão, manejadas com roçadas periódicas. Em 2010 foi feita aplicação de 2t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico (PRNT 85%) em superfície, sem incorporação.

A sequência de culturas anterior na área do experimento nos dois anos anteriores à aplicação dos tratamentos foi aveia preta comum (*Avena strigosa*) para cobertura do solo de inverno e milho (*Zea Mays*) cultivar Pioneer 30F53 no verão. Todas as culturas foram implantadas através de semeadura direta.

#### 5.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL, TRATAMENTOS E CRONOLOGIA DE ATIVIDADES

Foi utilizado delineamento experimental em blocos totalmente ao acaso, com quatro repetições alocadas em parcelas. As parcelas possuem 7 x 10 metros. Os tratamentos foram: ureia injetada (UI), utilizando o injetor de dejetos líquidos de suínos (IDLS) para abrir os sulcos e posteriormente distribuindo a ureia manualmente no sulco; 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS injetado (DI) com o equipamento IDSL, onde o próprio equipamento foi responsável por abrir o sulco e distribuir o dejetos em seu interior; dejetos em superfície (DS), aplicado com o, IDLS, mas erguendo-se as linhas para evitar a mobilização do solo, de forma que o dejetos formou linha de aplicação em superfície; milho semeado com semeadora de plantio direto sem adubação nitrogenada (M), utilizado como testemunha. Foi avaliado também a posição de coleta na linha de revolvimento e nas entrelinhas, no caso do milho, a linha amostrada foi a de semeadura e a entrelinha do mesmo.

Para dessecação de plantas invasoras foi realizada uma aplicação do herbicida com princípio ativo Glyphosate, 13 dias antes da aplicação dos tratamentos. Foi utilizado pulverizador acoplado a um trator da marca Massey Ferguson, modelo 275, com tração 4x4 integral e 75 CV de potência. No dia 15 de outubro de 2012 foi iniciada a implantação do experimento, com a distribuição do DLS em superfície e injetado da ureia apenas injetada. No dia 16 de outubro foi realizada a semeadura de milho em toda área experimental.

#### 5.5 CARACTERÍSTICAS DO EQUIPAMENTO DE INJEÇÃO

O equipamento utilizado para a injeção do DLS e para a abertura dos sulcos para distribuição da ureia (Figura 3a) foi desenvolvido em parceria entre professores da Universidade de Passo Fundo (UPF) e engenheiros da empresa MEPEL Máquinas e Equipamentos Ltda. Ele é composto por um tanque com capacidade de

4.000L, uma bomba acionada pela tomada de força do trator com a função de succionar os dejetos líquidos dos tanques ou esterqueira de armazenamento para dentro do tanque da máquina (carregamento) e, posteriormente, a função de bombear os dejetos para as linhas de injeção.

**Figura 3** Injetor de dejetos líquidos de suínos (a) e detalhe da linha responsável pela injeção (b).



O equipamento possui sete linhas de injeção de dejetos, distanciadas aproximadamente 0,35 m entre si e localizadas na parte traseira do equipamento. As linhas de injeção foram confeccionadas a partir de linhas de semeadora de plantio direto, na quais foram feitas

algumas adaptações como o uso de limitadores de profundidade acoplados ao disco de corte e redução das "asas" da haste sulcadora. As linhas foram ligadas a uma estrutura de barra tubular que, com auxílio de um pistão hidráulico ligado ao sistema de tomada de força do trator, são inseridas no solo ou erguidas para transporte. Os discos de corte possuem diâmetro de 0,45 m, sendo que o limitador lateral de profundidade (Figura 3b) permite que o disco se aprofunde até 0,12 m e a haste sulcadora alcance aproximadamente a mesma profundidade. Para regular a vazão de dejetos há um registro de esfera e a distribuição do dejetos entre as sete linhas é feito por um divisor de pressão. O referido equipamento foi tracionado por um trator da marca Massey Ferguson com 75 CV de potência e tração 4x4 integral, com massa de aproximadamente cinco toneladas. A velocidade de operação utilizada foi de 5 km h<sup>-1</sup> para implantação do experimento.

## 5.6 CARACTERÍSTICAS DA SEMEADORA

Foi utilizada uma semeadora de plantio direto da marca EICKHOFF modelo ESG - 302, produzida por EICKHOFF Máquinas Agrícolas Ltda., com duas linhas de milho espaçadas 0,8m entre si, conforme a Figura 4. A semeadora possui sistema de disco de corte e haste sulcadora semelhante à encontrada no injetor de dejetos, porém afastada do disco de corte, e sistema limitador de profundidade apenas para o disco de semeadura, sem limitador no sulcador e disco de corte. A semeadora do tipo "hidráulica" foi acoplada a um trator da marca Massey Ferguson modelo 275, com tração 4x4 integral e 75 CV de potência.

**Figura 4** Visão traseira(a) e lateral (b) da semeadora utilizada no plantio do milho.



## 5.7 DEJETO LÍQUIDO DE SUÍNOS

O dejetto utilizado é uma mistura de urina, fezes e materiais da limpeza das baias e possui como característica principal a grande quantidade de água em sua constituição. O dejetto utilizado foi produzido nas instalações de produção da Embrapa Suínos e Aves e possui pH 7,3.

**Tabela 3** Análise química dos DLS provenientes da Embrapa Suínos e Aves.

N	P	K	Cu	Zn	MS
----- kg m <sup>-3</sup> -----					
5	1,1	2,8	0,042	0,18	30

Estas características são comuns aos da maioria dos criadores e descritos em alguns estudos, como os de Perdomo et al.(2001) e Scherer et al. (1996).

## 5.8 ADUBAÇÃO QUÍMICA

A recomendação de adubação foi feita de acordo com o Manual de Adubação e Calagem e levou em consideração a produtividade esperada de 10 t ha<sup>-1</sup> de milho, onde a dose do fertilizante orgânico foi preconizada para a necessidade de N e, a partir dela, calculadas as quantidades dos nutrientes P e K para complementar a necessidade da cultura.



## 5.9 COLETA DAS AMOSTRAS E DETERMINAÇÕES DOS ATRIBUTOS DO SOLO

As análises físicas foram realizadas em amostras com estrutura preservada e alterada, sendo que a coleta de ambas foi realizada 28 dias após a implantação do experimento. Foram abertas trincheiras de 30x50 cm e coletadas amostras nas camadas de 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm. As amostras com estrutura preservada foram coletadas em anéis volumétricos de 5 cm de altura e 6 cm de diâmetro (142,4 cm<sup>3</sup>) no centro de cada camada. Em cada parcela, posição e camada os anéis foram coletados em duplicata, espaçados em aproximadamente 12 cm. A coleta na entrelinha foi realizada no centro da faixa entre as linhas, distante 18 cm da linha do injetor de dejetos líquido (Figura 5). No tratamento com semeadura de milho, realizada com a máquina para plantio direto, as coletas foram realizadas na linha e na entrelinha de semeadura com a mesma metodologia dos demais tratamentos.

**Figura 5** Posição de coleta das amostras (a) e detalhe da trincheira e da inserção dos anéis no solo (b).



As análises realizadas nas amostras coletadas nos anéis volumétricos foram: porosidade (total, bio, macro e microporosidade), densidade do solo, condutividade hidráulica saturada e resistência

mecânica a penetração. A porosidade foi determinada em box de areia, utilizando-se a metodologia descrita em EMBRAPA (1997). As amostras foram inicialmente saturadas por capilaridade e determinada a massa do conjunto anel+material de proteção+solo saturado. Posteriormente foram submetidas às tensões de 1, 6 e 10 kPa em box de areia até atingir o equilíbrio de umidade, determinando-se a massa do conjunto anel+material de proteção+solo úmido após cada tensão aplicada.

Após, o solo foi novamente saturado para determinação da condutividade hidráulica saturada ( $K_s$ ) em permeâmetro de carga variável, utilizando-se metodologia descrita em Gubiani et al. (2008). Na sequência as amostras foram novamente submetidas à tensão de 10 kPa em box de areia, com a finalidade de padronizar a umidade na tensão a 10kPa (CC) para realização do teste de resistência mecânica à penetração com o uso de um penetrômetro de bancada da marca Marconi modelo MA 933. Utilizou-se um cone de 3 mm de diâmetro, o qual foi introduzido nas amostras de solo até a profundidade de 4,5 cm, com velocidade constante de  $30 \text{ mm min}^{-1}$  e leituras a cada 1s. Por conta do efeito da borda do anel, descartaram-se os valores obtidos nos 0,5 cm superiores e inferiores da amostra.

Realizadas essas determinações, as amostras foram secas em estufa a  $105 \text{ }^\circ\text{C}$  até massa constante para calcular a densidade do solo (DS) pelo método do anel volumétrico, conforme Blake e Hartge (1986). A bioporosidade (Bio) corresponde ao volume de poros drenados na tensão de 1 kPa, a macroporosidade (Mac) na tensão de 6 kPa e a capacidade de campo (CC) na tensão de 10 kPa. A porosidade total (PT) foi determinada pela diferença de massa entre o solo saturado e o solo seco em estufa e a microporosidade (Mic) foi obtida pela diferença entre a PT e a Mac.

As amostras com estrutura alterada foram retiradas na forma de leivas em toda a extensão da camada amostrada, com auxílio de espátula metálica, e acondicionadas em sacos plásticos para preservar a estrutura e umidade durante o transporte até o Laboratório de Física e Manejo do Solo do Centro de Ciências Agroveterinárias da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAV/UDESC).

No laboratório as amostras foram secas ao ar, destorroadas e, com o auxílio de peneiras de 8,00 e 4,76 mm de abertura de malha, foi separada a classe de agregados para determinação da estabilidade de agregados em água pelo método via úmida (KEMPER E CHEPIL, 1965). Foram pesadas duas subamostras de 25 g cada, as quais foram

dispostas sobre um jogo de peneiras em um tanque e mantidas imersas em água por 10 minutos e, em seguida, as peneiras oscilaram verticalmente durante 10 minutos. Foram utilizadas, de cima para baixo, as peneiras com abertura de malha de 4,76, 2,00, 1,00 e 0,25 mm, oscilação vertical de 4,3 cm e 40 oscilações por minuto. A partir da massa de agregados retida em cada peneira foi calculado o diâmetro médio geométrico (DMG) dos agregados segundo Yoder (1936).

A granulometria do solo foi determinada pelo método da pipeta em duplicatas de amostras, conforme descrito em Gee e Bauder (1986), através da dispersão de 25 gramas de terra fina seca ao ar (TFSA) em 70mL de água e 10mL de NaOH 1N e 4 h de agitação mecânica em agitador recíprocante. Para determinar o grau de floculação, a mesma metodologia foi utilizada, adicionando-se apenas água, sem o dispersante químico (NaOH).

O procedimento para determinar a área superficial específica do solo (ASE) foi modificado da metodologia apresentada por Blake e Hartge (1986), método que utiliza Etileno Glicol Monoetil Éter (EGME), onde um grama de solo seco ao ar foi passado por uma peneira 0,425 mm e colocado no fundo de uma lata limpa e seca de alumínio e adicionados 3mL de EGME sobre o solo. O solo e o EGME foram misturados usando movimentos circulares até que a mistura ficasse uma pasta de aparência uniforme. A lata foi colocada dentro do dessecador a vácuo e a tampa sob a lata. Foi realizada uma evacuação no primeiro dia durante 45 min com vácuo de aproximadamente 600 mm Hg. No segundo dia foi realizada outra evacuação de 45 min, após, a determinação da massa da amostra. Posteriormente foram realizadas mais pesagem seguidas de evacuações de 45 min com intervalo de aproximadamente 3 h até a estabilização da massa, que era alcançada quando não houvesse variação superior a 0,001g. A ASE, em  $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ , foi calculada utilizando-se a seguinte fórmula:

$$ASE = W_a / (0,000286 W_s).$$

Onde  $W_s$  é a massa de solo adicionada inicialmente, em g;  $W_a$  é a massa de EGME retido pela amostra, em g (massa do solo com EGME ao final do teste menos a massa inicial do solo -  $W_s$ ); 0,000286 é a massa de EGME requerido para formar uma camada monomolecular num metro quadrado de superfície, em  $\text{g m}^{-2}$ ).

A densidade de partículas foi determinada pelo método do balão volumétrico modificado, descrito em Gubiani et al. (2000).

A análise do carbono orgânico total (COT) foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Tedesco (1995). Foram utilizadas amostras de 0,20 a 0,50 g de TFSA, colocadas em erlenmeyer de 50ml. Foi adicionada solução oxidante composta de 5mL de  $K_2Cr_2O_7$   $1,25 \text{ mol L}^{-1}$  e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Após, foram levadas para o banho de areia, aquecidas até atingir  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  e mantidas nesta temperatura por 1 min. Na sequência, foram retiradas e tituladas com sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ,  $0,25 \text{ mol L}^{-1}$ ) na presença de 3 gotas do indicador ferroin (O-fenantrolina), até o aparecimento da cor violeta. Provas em branco também foram submetidas ao aquecimento, para quantificar a redução do dicromato durante o processo.

O pH em água, também foi determinado de acordo com metodologia descrita em Tedesco (1995), com mistura de solo e água destilada na proporção de 1:1, deixadas por 30 minutos, remisturadas e medidas com peagâmetro digital.

Nas amostras com estrutura alterada também foi realizado o ensaio de Proctor Normal, para avaliar a densidade máxima e a umidade ótima de compactação solo, de acordo com o método modificado por Klein (2008). Esta determinação foi realizada apenas com o intuito de caracterizar a camada arável (0 a 20 cm de profundidade), com duas repetições de laboratório em cada teor de umidade testado. Foi utilizado um aparelho automático (Solotest®) constituído de uma base giratória, na qual se encontra fixado um cilindro de  $1.000 \text{ cm}^3$  (10,0 cm de diâmetro e 12,7 cm de altura), soquete metálico de 2,5 kg e altura de queda constante igual a 30,5 cm, que resulta na aplicação de 560 kPa de energia segundo norma NBR 7.182 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1986).

No momento da coleta, também foram realizadas análises de resistência mecânica à penetração de raízes, utilizando-se um penetrômetro da marca Falker, modelo PLG-1020, com ponta cônica de  $30^\circ$  e leituras a cada 1 cm de aprofundamento da haste no solo, até a profundidade de 40 cm. Foram realizadas 7 leituras por parcela, sendo uma na linha do injetor e três ao lado direito e três ao lado esquerdo da linha, em pontos espaçados em 6 cm entre si. Esta determinação foi realizada com o intuito de produzir um mapa de RP do solo, perpendicular a linha de injeção de dejetos líquido suíno e ureia. A mesma metodologia foi aplicada no tratamento com dejetos em superfície, porém partindo-se da linha de aplicação do dejetos na superfície. Com relação ao tratamento milho (M), a análise de RP foi

feita no sentido transversal às linhas de semeadura no espaço das entrelinhas das fileiras, utilizando o mesmo espaçamento.

## 5.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram submetidos ao teste da normalidade Shapiro-Wilk e, quando necessário, foram transformados para atender a normalidade. Após foi calculada pelo teste F a 5% de probabilidade, considerando um delineamento experimental em blocos ao acaso com parcelas subdivididas. A análise da variância foi determinada separadamente para cada uma das três camadas avaliadas. No teste de comparação de médias, foram considerados como parcelas principais os tratamentos de aplicação de esterco e ureia e como subparcelas, posição de coleta (linha e entrelinha) em relação à aplicação dos fertilizantes ou da semeadura do milho.

## 6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

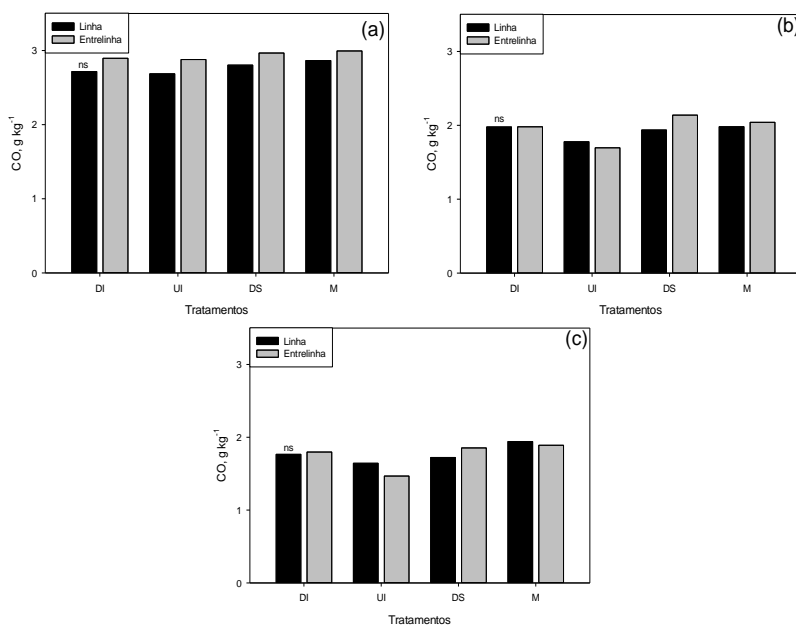
### 6.1 CARBONO ORGÂNICO TOTAL E PH DO SOLO

Os teores de carbono orgânico total (COT) no solo não diferiram entre os tratamentos (Figura 6). Em estudos com aplicação de DLS em doses variando de 25 a 200 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos (densidade de 40 a 60 g dm<sup>-3</sup> de matéria seca) em Latossolo Vermelho, Arruda et al. (2010) e Costa et al. (2011) encontraram resultados semelhantes aos deste estudo. Não houve incremento nos teores de COT em função de que foi realizada apenas uma aplicação de 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de DLS, quantidade insuficiente para alterar este atributo no solo.

Quando observado, o aumento do teor de COT no solo pode ser explicado em função de que a aplicação de dejetos pode alterar não apenas as condições físicas, mas também as químicas e biológicas do solo (SEGANFREDO, 2007). Assim, com a adição de dejetos e com a mobilização do solo, a atividade biológica pode ser aumentada de forma a consumir os baixos teores de matéria seca adicionada pelo dejetos. Aumento da atividade microbiana e da taxa de mineralização da matéria orgânica do solo foi relatado por N'dayegamiye e Côté (1989). Por outro lado, em trabalho realizado por Ceretta et al. (2003) com tempo maior de aplicação (quatro anos) e doses de 20 e 40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos líquido

de suíno, em pastagem natural, observou-se incremento nos teores de carbono orgânico, porém, apenas na camada 0 a 2,5 cm.

**Figura 6** Carbono orgânico total de um Nitossolo Vermelho Distroférico após aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10(a), 10 a 20(b) e 20 a 30 cm(c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo.



Da mesma forma que o COT, o pH em água do solo não diferiu entre os tratamentos (Figura 7). O pH foi mais elevado na camada superficial (Figura 7a), pela correção com calcário dolomítico aplicado 28 meses antes da implantação do experimento. Estes dados corroboram com os obtidos por Cassol et al. (2011) que, utilizando  $200 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos de suínos em cobertura em Latossolo Vermelho Distroférico argiloso por 5 anos, não observou alterações no pH do solo. Vários pesquisadores analisaram o comportamento do pH em diferentes solos e sistemas de manejo com o uso de dejetos de suínos e de outros animais e

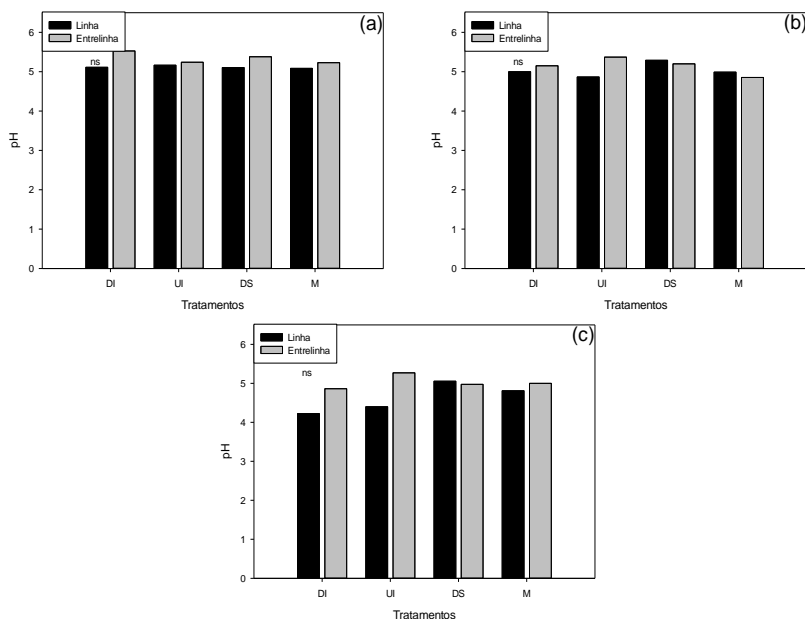
também não observaram diferenças no pH do solo (CERETTA et al., 2003; ERNANI e GIANELLO,1983; NUERNBERG, 1983).

Em dois solos submetidos à aplicação de doses de DLS por quatro anos, Scherer (2007) observou que cada solo teve comportamento distinto. O solo mais argiloso teve seu pH aumentado enquanto o com menor teor de argila apresentou diminuição do pH, ambos na camada superficial (0 a 10 cm), enquanto nas camadas mais profundas não houve influência da aplicação superficial.

As diferenças no pH do solo, quando observadas, são atribuídas ao fato que após a aplicação dos dejetos, enquanto na urina dos suínos, a hidrólise da ureia aumenta o pH do solo (ZAMAN et al., 2009; BLENNERHASSETT, 2010), a oxidação do N amoniacal dos dejetos reduz o pH ( SINGH et al., 2008). Porém é atribuída principalmente às variações na composição do dejetos, especialmente quanto aos teores de carbonato ou outros componentes de reação alcalina (WHALEN et al., 2000). Também depende do poder tampão do solo, da dose aplicada, sendo geralmente necessárias doses elevadas e repetidas para serem observadas mudanças significativas no pH do solo (CASSOL et al., 2005).



**Figura 7** pH em água de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo.



## 6.2 ESTABILIDADE DE AGREGADOS EM ÁGUA (DMG) E GRAU DE FLOCULAÇÃO

Não houve diferença significativa para o diâmetro médio geométrico dos agregados estáveis em água (DMG) nas duas camadas superiores entre os tratamentos testados (Figura 8a e 8b). Porém, houve diferença significativa entre posições (linha x entrelinha) (Figura 8c). Nessa camada (20 a 30 cm) não é esperado haver efeito dos tratamentos, em função de que os elementos sulcadores atingem no máximo 15 cm

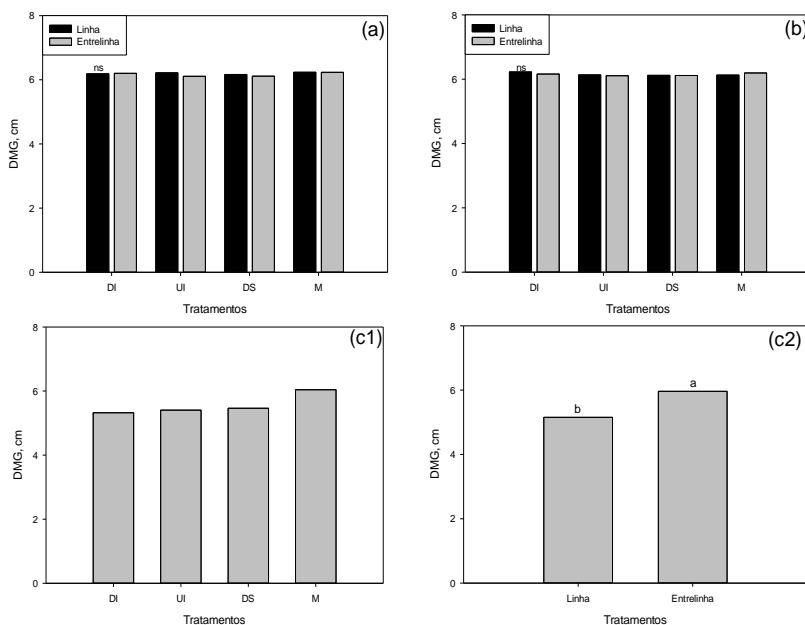
de profundidade, de forma que estes dados devem representar a variação espacial da estabilidade de agregados a campo.

A estabilidade de agregados em água está diretamente associada aos teores de carbono orgânico (ALVES et al., 1998) e pH do solo e, conforme, apresentado nas Figuras 6 e 7, estes atributos não foram alterados com a aplicação de dejetos, independente da forma de aplicação. É importante ressaltar que as alterações em atributos estruturais podem ocorrer de forma mais lenta caso o solo originalmente possua uma boa estrutura, como é o caso do Nitossolo. Dessa forma, o incremento na agregação devido à adição de compostos orgânicos e ao possível incremento da atividade biológica pode ser menos evidente (MELLO et al., 2004), principalmente considerando-se que a determinação foi realizada após apenas uma aplicação dos tratamentos.

Os resultados corroboram os obtidos por Piccolo e Mbagwu (1990), os quais observaram que a adição de dejetos de suínos, lodo de esgoto e dejetos de bovinos em solo arenoso aumentou a estabilidade dos agregados em 27%, enquanto no solo argiloso não houve resposta significativa. Entretanto, Castro Filho et al. (2003), ao avaliarem o potencial fertilizante do dejetos de suínos e as alterações nas propriedades físicas de solos argilosos, verificaram que a aplicação de doses crescentes de dejetos aumentou a agregação do solo, como resultado do aumento no teor de carbono orgânico.

Os resultados de estabilidade de agregados não foram alterados pelo uso do injetor ou da semeadora de plantio direto. De modo geral, o solo apresentou alta estabilidade dos agregados em água (alto DMG), independente do tratamento ou da camada amostrada, com média de aproximadamente 6,0 mm. Portanto, constitui-se num solo com elevada estabilidade, já que a escala para o método utilizado neste estudo pode variar de 0,12 até 6,3 mm, respectivamente para solos com baixa e alta estabilidade de agregados em água.

**Figura 8** Diâmetro médio geométrico de agregados de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e sementeira direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de sementeira.<sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre posições.



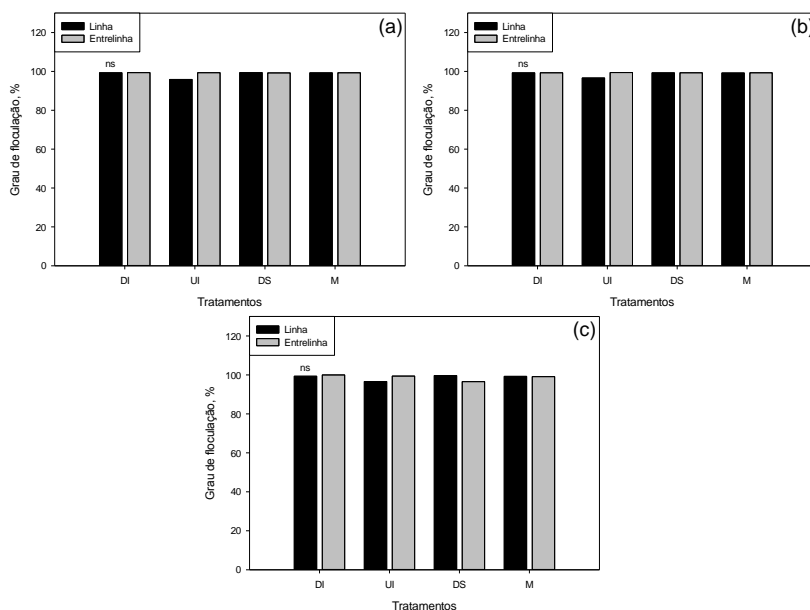
O grau de floculação da argila não diferiu significativamente, tanto entre tratamentos como entre posições de coleta (Figura 9). Observou-se que o grau de floculação do Nitossolo Vermelho está próximo de 100% nas três camadas avaliadas, o que indica que as forças de coesão são muito fortes na condição de solo a campo (Figura 9). O grau de floculação não foi modificado pela aplicação de dejetos suíno, tanto injetado no solo como em superfície, nem pela aplicação de ureia na linha ou pela mobilização do solo com a sementeira. Isso é característico de alguns solos que possuem, em sua constituição, componentes que favorecem a coesão, como matéria orgânica e óxidos

de ferro e de alumínio, associado a pH e balanço de cargas no solo que desfavorecem a dispersão.

Este resultados podem ser explicados em função de que não houve diferença no pH e nos teores de carbono orgânico total após apenas uma aplicação do dejetto, de ureia ou do revolvimento promovido pelos equipamentos, conforme apresentado no tópico 5.1. Segundo Oades (1984 e 1993), Oades e Waters (1991) e Gomes et al. (1994), o fenômeno da dispersão-floculação no solo é influenciado, entre outros fatores, pela matéria orgânica, a qual afeta o desenvolvimento da estrutura e relaciona-se, também, com o balanço das cargas elétricas do solo.

Quanto à influência do pH no grau de floculação, sabe-se que quando há aumento da carga líquida negativa com a elevação do pH do solo, as forças repulsivas são suficientemente grandes para se sobrepor às forças eletrostáticas de atração e, neste caso, parte da argila permanece dispersa (GILLMAN, 1974). Uehara e Gillman (1980) afirmam que, para ocorrer a dispersão da argila, é necessário que o pH do solo se encontre mais elevado do que o ponto de carga zero do solo (PCZ).

**Figura 9** Grau de floculação da argila em Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados em amostras coletadas nas camadas de 0 a 10 (a), 10 a 20 (b) e 20 a 30 cm (c) de profundidade, nas linhas e entrelinhas em relação à faixa de aplicação ou de semeadura. <sup>ns</sup> não significativo.



### 6.3 DENSIDADE E POROSIDADE

A densidade do solo diferiu entre os tratamentos (Figura 10a1) e entre as posições de coleta (Figura 10a2) na camada de 0 a 10 cm, mas não nas camadas de 10 a 20 e 20 a 30 cm (Figura 10b e 10c). O IDSL teve o mesmo efeito que a semeadora de plantio direto na densidade do solo, observando-se uma diminuição da densidade do solo na linha, em função do revolvimento do solo promovido pelo elemento sulcador tanto pelo uso do IDSL como da semeadora de plantio direto, especialmente na camada superficial. Resultados semelhantes foram encontrados por

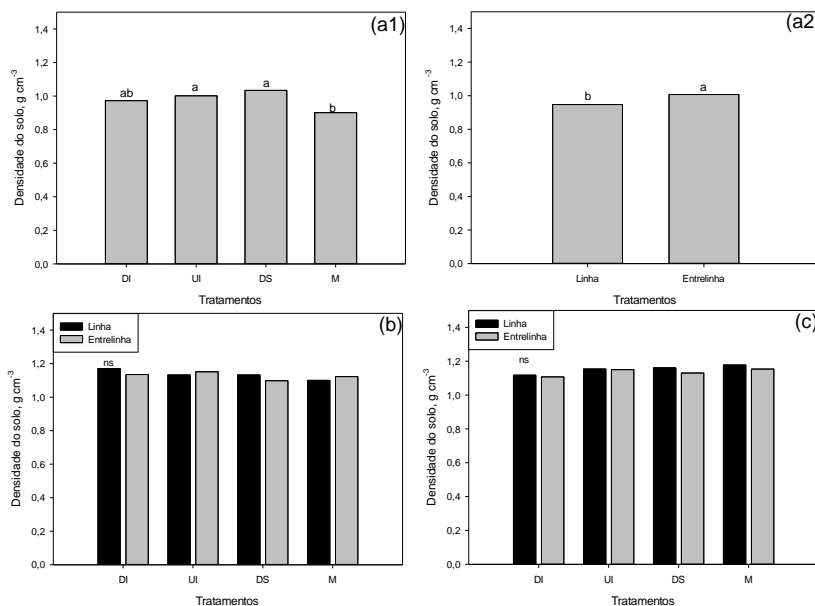
Correchel et al. (1999) e Silva et al. (2005), os quais observaram menor densidade do solo na linha de semeadura comparado a entrelinha na camada superficial de solo manejado em plantio direto.

O solo pode apresentar maior densidade pelo adensamento natural da sua estrutura, decorrente da ausência total ou parcial do revolvimento (CARVALHO Jr., 1998; TORMENA et al., 1998; BERTOL et al., 2000; VEIGA et al., 2008). Assim, o uso de implementos com hastes pode aumentar a porosidade total, reduzir a densidade e, ao mesmo tempo, romper as camadas superficiais encrostadas e camadas subsuperficiais compactadas situadas acima da profundidade de ação da haste (KOCHHANN; DENARDIN, 2000) e, desta forma, ser benéfica ao desenvolvimento do sistema radicular das culturas.

Em relação ao valor absoluto, observa-se que em nenhum dos tratamentos a densidade do solo foi muito elevada (Figura 10). O teste de Proctor para este solo indicou que a densidade máxima de compactação foi de  $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ . Portanto, em todos os tratamentos e camadas a densidade foi inferior à densidade máxima. Na camada de 0 a 10 cm a DS foi em média de  $0,98 \text{ g cm}^{-3}$  e nas camadas de 10 a 20 e de 20 a 30 cm foi em média de  $1,14 \text{ g cm}^{-3}$ , portanto dentro da faixa adequada para o crescimento das raízes. De acordo com Archer e Smith (1972), o limite máximo tolerado da densidade dos solos argilosos é de  $1,20 \text{ g cm}^{-3}$ , sendo que solos com densidade acima de  $1,30 \text{ g cm}^{-3}$  apresentam limitações quanto à permeabilidade e aeração e, conseqüentemente, confere restrições ao bom desenvolvimento do sistema radicular das culturas. Entretanto, Reinert e Reichert (2001) citam que, para culturas comerciais, o limite está próximo de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$  para solos argilosos, portanto superior ao citado por Archer & Smith (1972) e ao determinado no teste de Proctor.

Os tratamentos com uso do IDSL para incorporar o dejetto (DI) e incorporar a ureia (UI), não diferiram entre si (Figura 10), possivelmente devido à pequena quantidade de dejetto adicionada por hectare, o que não alterou o teor de carbono orgânico do solo. Segundo Raji (1991), Zhao et al. (2009) e Mellek et al. (2010), há contribuições da matéria orgânica para reduzir a densidade do solo, pois a mesma atua na melhoria da agregação do solo, contribuindo para dar uma condição friável e porosa.

**Figura 10** Densidade de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e sementeira direta de milho (M). Na camada de 0 a 10 cm estão as médias dos tratamentos (a1) e da posição (a2); (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo.

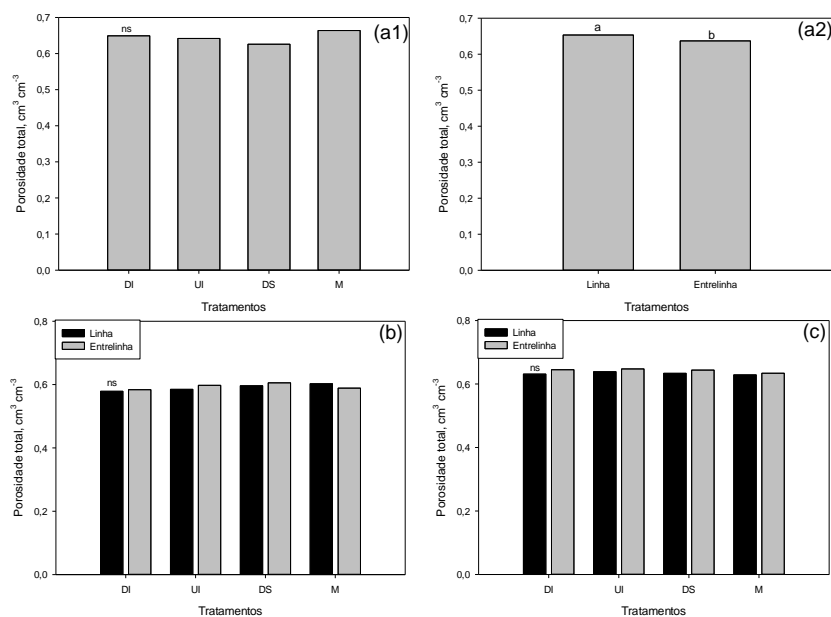


Da mesma forma que a densidade do solo, a porosidade total, não apresentou interação significativa entre os tratamentos e posição (linha e entrelinha), mas apresentou diferença significativa entre a linha e a entrelinha.

Nas camadas mais profundas não houve diferença significativa entre os tratamentos aplicados, em função de que a profundidade máxima de revolvimento do sistema de plantio direto e injeção do IDSL e da semeadora chega a aproximadamente 12 cm. Com a mobilização do solo na linha de aplicação do dejetos ou da sementeira da cultura, o solo aumenta o número e o tamanho dos poros, alterando assim a porosidade total (Figura 11a2). Estes resultados corroboram com os obtidos por Koakoski et al. (2007) e Drescher (2011), que avaliaram sistema de semeadora com mecanismos do tipo facão+discos, em Latossolo e

verificaram diminuição na densidade e na microporosidade do solo e aumento na macroporosidade e na porosidade total até a profundidade de atuação deste dispositivo comparativamente à semeadora equipada apenas com discos.

**Figura 11** Porosidade total de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a1)(a2)0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo.\*letras minúsculas comparam posições de coleta.



Segundo Secco e Reinert (1997), a duração dos benefícios da escarificação chega a 10 meses após o preparo, observada pela maior porosidade total em Latossolo Vermelho sob semeadura direta. Desta forma, pode-se afirmar que o efeito do sistema de facão guilhotina perdura por tempo suficiente para o desenvolvimento de aproximadamente duas safras agrícolas, o que pode ser benéfico ao desenvolvimento das culturas.



Por outro lado, não houve aumento na porosidade total com adição do DLS, mantendo-se entre 0,58 e 0,63  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  nas camadas estudadas. Arruda et al. (2010) pesquisaram o efeito de uma aplicação de 50 a 200  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de DLS combinado com adubo solúvel em Latossolo Vermelho sob semeadura direta e não observaram alteração significativa na porosidade total, que variou de 0,45 a 0,48  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ . Os dados obtidos divergem dos encontrados por Pagliai et al. (1985), Barzegar et al. (2002) e Hati et al. (2006), que observaram aumento na porosidade total e diminuição da densidade do solo após aplicação de dejetos de suínos. Os dados também divergem dos encontrados por Rauber et al. (2012) que, avaliando áreas submetidas a aplicação de DLS (50  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) e cama de aves (16  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ ) em Nitossolo Vermelho, encontraram maior porosidade total na camada 0 a 5 cm (0,62  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) no tratamento submetido a 20 anos de aplicação de dejetos de suínos.

A porosidade total do solo não fornece informações sobre a distribuição dessa porosidade (HILLEL, 1982). Dessa forma, visando uma melhor caracterização da porosidade, costuma-se fazer uma divisão em classes conforme o tamanho dos poros, sendo a mais frequente a classificação em macroporos e microporos.

## 6.4 CLASSES DE POROS

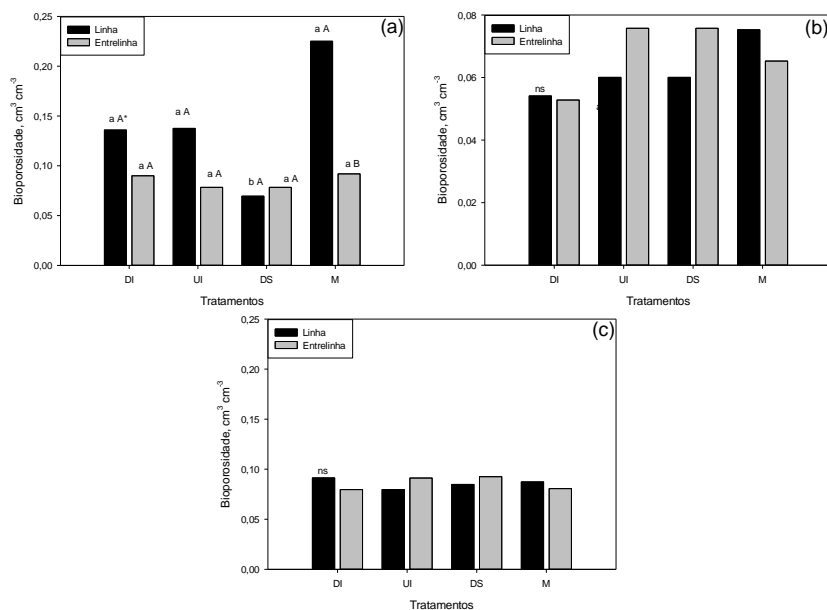
Houve interação entre os tratamentos e a posição de coleta na camada de 0 a 10 cm para o volume de bioporos (Figura 12a), com menor volume na linha de aplicação do tratamento com DLS na superfície (DS), o que pode ser explicado pela não mobilização do solo para incorporação do dejetos ou ureia, preservando a estrutura natural do Nitossolo. Já o volume de bioporos nas linhas dos tratamentos DI, UI e M foi elevado, porém a designação destes poros pode não ser aplicável para este estudo, uma vez que houve mobilização mecânica do solo nessa posição. De acordo com Ringrose-Voase (1991), são considerados bioporos aqueles poros oriundos da atividade biológica, ou aqueles originados pela flora e fauna do solo como, por exemplo, os poros tipo canais e câmaras. No presente estudo, os poros nesses tratamentos foram originados também pela ação de equipamentos. Este volume de bioporos será menor ao longo do tempo, em função da acomodação do solo, conforme observado por Kaiser (2010).

Em relação à posição de coleta, houve diferença apenas no tratamento com milho, onde o volume de bioporos na linha foi superior

à entrelinha. Isso demonstra que existe grande variabilidade neste atributo em solo recentemente mobilizado. Esta variabilidade indica a necessidade de coletar maior número de repetições de campo para diminuir o coeficiente de variação, que neste caso foi de 52% para posição e tratamento na primeira camada (Anexo 1).

A classe de bioporos é uma subdivisão dos macroporos, os quais são espaços de crescimento das raízes, o que as permite atingir maiores profundidades (KAISER, 2010). Desta forma, o seu estudo é importante para avaliar a qualidade física do solo.

**Figura 12** Volume de bioporos de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e sementeira direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento.



O volume de macroporos (Figura 13) teve comportamento semelhante ao de bioporos. Houve interação entre tratamentos e posição de coleta na camada de 0 a 10 cm, mas nas demais camadas não houve efeito de tratamentos e posições de coleta. Conforme pode ser observado na Figura 13a, não houve diferença com relação à posição de coleta. A injeção de ureia, de dejetos e a semeadura do milho também não alteraram o volume de macroporos. A principal diferença é observada no aumento do volume de macroporos no tratamento milho (M) quando comparado à aplicação de dejetos em superfície. Este efeito é observado em função do revolvimento da linha de semeadura do milho e mobilização da estrutura do solo pelo mecanismo sulcador, diferente do tratamento DS, que não foi submetido a revolvimento.

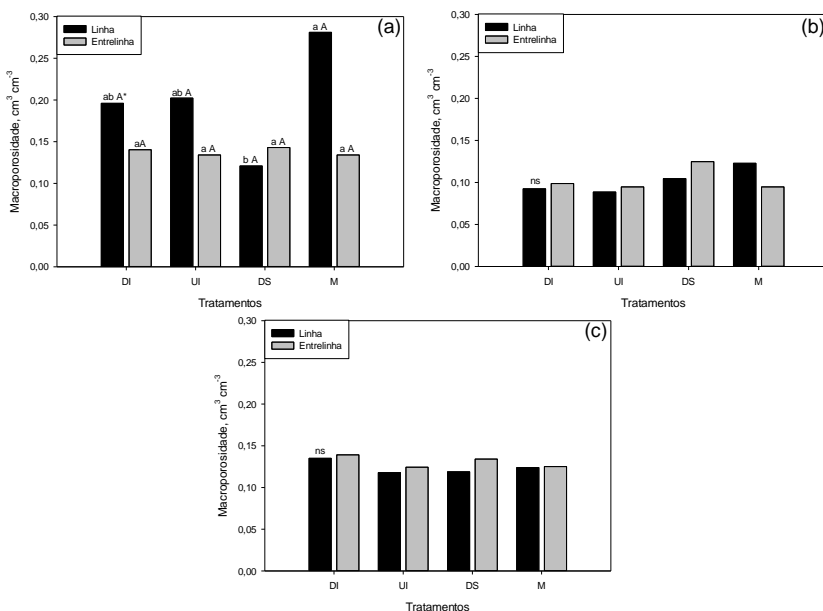
Genro Junior et al. (2004) afirmam que a ação dos mecanismos rompedores de solo que equipam as semeadoras também deve ser enfatizada nas alterações da porosidade do solo. Isso porque o espaçamento médio usado para culturas de inverno é de 17 cm e, na semeadura, ocorre a mobilização de uma camada de 5 cm ou mais para colocação de sementes e adubo, o que mobiliza, aproximadamente 30% da superfície em uma única operação. Também ajuda neste processo a ação das semeadoras-adubadoras munidas de disco ou de facão, utilizadas para semeadura das culturas de verão, que mobilizam o solo no momento da semeadura (SECO et al., 2009).

Diferente dos resultados encontrados neste estudo, Pagliai et al. (1985) e Pagliai e Antisari (1993) observaram aumento do volume de macroporos em profundidade com a aplicação de DLS. Estes autores afirmam que o aumento da macroporosidade é particularmente importante porque favorece o crescimento das raízes, infiltração de água e aeração do solo.

Por outro lado, Schaefer et al. (2001), ao avaliarem as características da porosidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo do solo, verificaram que o sistema de semeadura direta preserva em grande parte a conectividade entre os macroporos do solo. Isto foi verificado desde a superfície até camadas inferiores do solo. Nos tratamentos preparados com grade pesada, perceberam um aspecto de amassamento do solo na subsuperfície. Este amassamento caracteriza-se por um empacotamento do solo em torrões grandes com poucos poros interligados, formando zonas compactas separadas umas das outras por rachaduras, provocado pela destruição da estrutura do solo pelo revolvimento.

É particularmente importante observar que o volume de macroporos na camada de 0 a 10 cm está acima do nível crítico de  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , volume a partir do qual há bom desenvolvimento radicular da maioria das culturas anuais. Volume de macroporos inferior a  $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  é limitante para o desenvolvimento da maioria das culturas (Greenland, 1981).

**Figura 13** Volume de macroporos de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento.

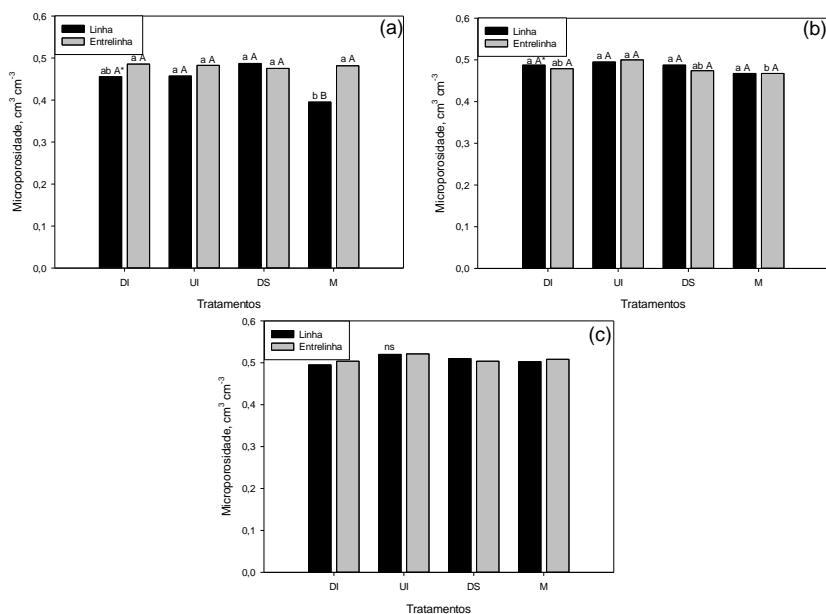


Houve interação entre tratamentos e posição de coleta para o volume de microporos nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm de profundidade (Figura 14). Em relação ao volume de microporos,

observa-se, na camada de 0 a 10 cm (Figura 14a), uma tendência de diminuição nas linhas de injeção do dejetos ou ureia e na linha de semeadura do milho, embora as diferenças estatísticas não fossem claras. Esta diminuição no volume de microporos ocorreu pelo revolvimento nas linhas, com exceção do tratamento DS, onde o solo não foi revolvido. O revolvimento do solo momentaneamente tende a aumentar o volume de macroporos e, como consequência, diminuir o de microporos. A diferença mais evidente foi encontrada na comparação entre posições de coleta no tratamento milho, onde o volume de microporos na linha de semeadura foi significativamente menor do que na entrelinha. As diferenças observadas na camada de 10 a 20 cm (Figura 14b) podem ser devidas à variação espacial do solo, pois as diferenças apareceram nas entrelinhas dos tratamentos, ou seja, na região considerada como testemunha, diferentemente dos demais resultados encontrados neste trabalho.

Em experimentos com incorporação de esterco de animais ou outros materiais orgânicos, Hafez (1974) e Weil e Kroontje (1979) observaram que a incorporação de dejetos em condições adequadas de umidade melhora as características físicas do solo, como o aumento do volume de microporos e da retenção de água. Em geral, o efeito em longo prazo do sistema de plantio direto, com mobilização do solo apenas na linha de semeadura (semelhante ao sistema do IDSL), aumenta a densidade e o volume de microporos e diminui o volume de macroporos (BERTOL e SANTOS, 1995; TORMENA et al., 1998; SILVA et al., 2005; MARTORANO et al., 2009). Porém, estes resultados são observados ao longo do uso do sistema por vários anos.

**Figura 14** Volume de microporosidade de um Nitossolo Vermelho Distroférrico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas a comparação é entre tratamentos da mesma posição e letras maiúsculas a comparação é entre posições do mesmo tratamento.



## 6.5 RESISTÊNCIA MECÂNICA À PENETRAÇÃO

A resistência à penetração (RP) foi determinada no campo e no laboratório. A determinação de campo é apresentada na forma de mapas de resistência e através da média dos tratamentos. Analisando-se os mapas de resistência à penetração, observa-se que os tratamentos testados apresentaram RP abaixo de 2 MPa na maioria das camadas (Figura 15) na umidade testada (Tabela 4). Segundo Camargo e Alleoni (1997), o limite crítico para o desenvolvimento de plantas é próximo de

2,5 Mpa, sendo observado em apenas em alguns pontos isolados resistência maior que este limite. A resistência à penetração serve para descrever a resistência física que o solo oferece a algo que tenta se mover através dele. Ela está diretamente relacionada com vários atributos e condições do solo, como textura, densidade, matéria orgânica e, principalmente, a umidade no momento da determinação (STOLF et al., 1983; BUSSCHER et al., 1997 e PEDROTTI et al., 2001).

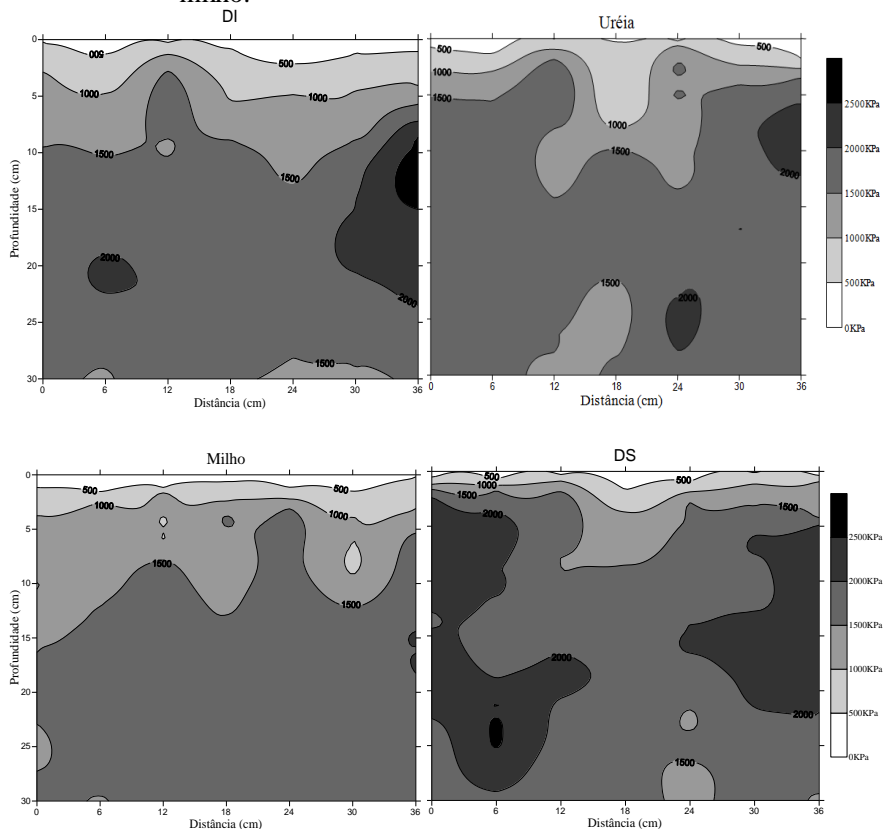
**Tabela 4** Umidade gravimétrica na data da coleta das amostras e leituras de RP. DI: dejetos suíno injetado; UI: ureia injetada; DS: dejetos suíno em superfície; M: semeadura direta de milho em Nitossolo Vermelho Distroférico.

Tratamento	Camada(cm)		
	0 - 10	10 - 20	20 - 30
	<b>kg kg<sup>-1</sup></b>		
UI	0,38	0,39	0,39
DI	0,39	0,38	0,39
DS	0,39	0,40	0,40
M	0,37	0,38	0,38
Média	0,38	0,39	0,39

No mapa de RP do dejetos incorporado (Figura 15DI), pode-se observar uma pequena redução da RP no local da injeção. Vale ressaltar que a posição 18 cm corresponde ao centro do sulco para injeção do dejetos (ou injeção da ureia ou, ainda, distribuição do dejetos em superfície) e, neste local, houve um revolvimento localizado que se expande lateralmente apenas em poucos centímetros. Aos 12 e 24 cm, ou seja 6 cm para cada lado da linha de injeção, há o efeito de compactação que pode ter sido proporcionado pelo limitador de profundidade das linhas ou pelo deslocamento lateral de solo provocado pela haste do sulcador. Esta compactação também é observada nos demais tratamentos com uso do IDSL, como é o caso da aplicação da ureia (Figura 15). Esta é a principal característica a ser observada nos mapas de RP quanto ao uso do IDSL, sendo esta compactação atribuída à elevada carga que o equipamento transfere para as linhas de injeção, onde se localiza o limitador de profundidade, de forma que a massa total

do equipamento fica concentrando em uma pequena superfície. Como o sentido de tráfego nas parcelas não seguiu um padrão, nem sempre esta pressão ocorreu no mesmo lado do sulcador em cada tratamento.

**Figura 15** Mapas de resistência mecânica à penetração em Nitossolo Vermelho Distroférrico após a injeção de dejetos líquidos de suíno. DI: dejetos suíno injetados; Ureia: ureia injetada; DS: dejetos suíno em superfície; Milho: semeadura direta de milho.



O equipamento de injeção revolveu o solo localmente, em torno de 5 cm para cada lado do local da passagem da haste. No tratamento DS (Figura 15), a resistência à penetração foi menor no local onde o dejetos foi aplicado. Esse efeito pode ter ocorrido em função da ação da



biota do solo, causando sua descompactação, ou, ainda, pela variação espacial do solo decorrente do trânsito pretérito de máquinas e equipamentos. Essa variação também ocorre no tratamento M (Figura 15), conforme também foi observada em estudo realizado por Silva (2003) e Kaiser (2010).

Mesmo em profundidades maiores do que o sistema sulcador dos equipamentos poderia alcançar, houve uma variação na RP em todos os tratamentos. Esse efeito pode ser atribuído à variabilidade espacial que a resistência apresenta no perfil, pois a compactação e/ou revolvimento não alteram homogeneamente a estrutura do solo, como indicado nos mapas de resistência do solo ao longo do perfil (KAISER, 2010). O tratamento milho, que foi utilizado como testemunha, retrata apenas a variação da RP do solo e o efeito do tráfego de máquinas, comum em todos os tratamentos.

A umidade do solo no momento da operação de implantação do experimento (Tabela 4) pode ter levado à deformação plástica do solo, pois no dia das operações estava bem próxima da umidade ótima para compactação do solo (Figura 1).

**Tabela 4** Umidade gravimétrica na camada de 0 a 20 cm por ocasião da aplicação dos tratamentos.

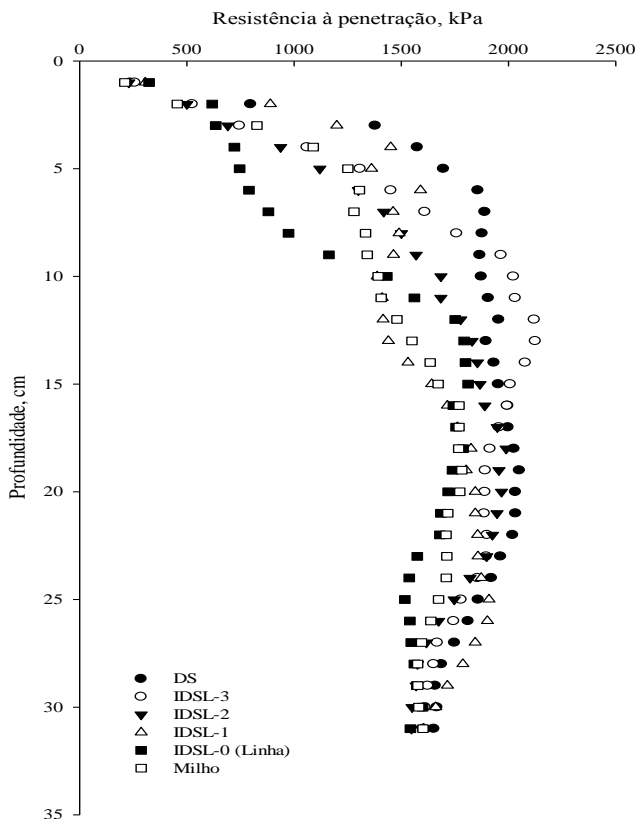
BLOCO	UG (kg kg <sup>-1</sup> )
1	0,33
2	0,41
3	0,40
4	0,40

Quando a resistência foi expressa através das médias de cada camada de 1 cm de espessura, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos em nenhuma camada. O coeficiente de variação, (CV) de 24% quando consideradas todas as camadas e de aproximadamente 50% nas primeiras camadas, interfere no resultado da análise da variância e dos testes de comparação de médias. Contudo, valores elevados de coeficiente de variação para a RP é comumente descrito na literatura (CASTRO, 1995; RIBON et al., 2003; BUSSCHER et al., 1997; SILVEIRA et al., 2010).

Ao observar os dados do IDSL-0, que se refere ao local exato da injeção do dejetto ou ureia, constata-se que a RP é baixa entre 5 e 10

cm e uma região com RP mais elevada, situada a aproximadamente a 15 cm da superfície, poderia indicar compactação pela pressão da linha de injeção ou da própria resistência do solo. No tratamento com dejetos aplicado na superfície, a RP foi mais alta nos primeiros centímetros do perfil pela ausência de revolvimento e torna-se semelhante aos demais tratamentos abaixo de 10 cm de profundidade (Figura 16).

**Figura 16** Resistência à penetração, determinada no campo, de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno em superfície (DS); Milho: semeadura direta de milho; IDSL-0 : Local exato da injeção da ureia ou dejetos; IDSL-1: 6 cm lateral a linha de injeção; IDSL-2: 12 cm lateral a linha de injeção; IDSL-3: 18 cm lateral a linha de injeção (entrelinha), avaliado na camada de 0 a 30.

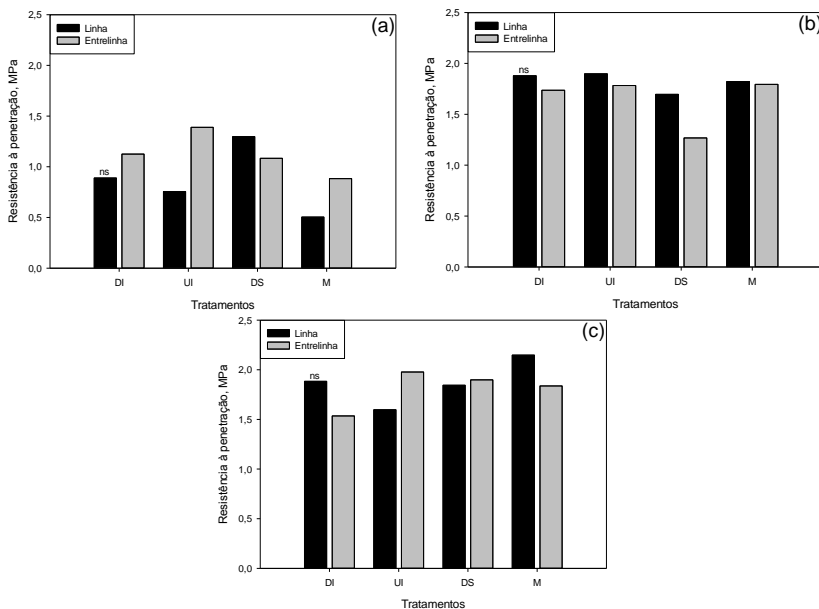


Na determinação da RP em laboratório, quando as amostras estavam submetidas com umidade equilibrada na tensão de 10 kPa, foram observados valores entre 0,5 a 1,4 MPa na camada 0 a 10 cm (Figura 17). Nessa análise, mesmo as amostras estando com umidade

equilibrada na mesma tensão, também foi observado elevado CV (Anexo 1) e não foi detectada diferença significativa. Elevado CV também foi observado por Silva et al. (2004) em estudos sobre a variação espacial da RP em Argissolo manejado sob plantio direto, com valores entre 19 e 43%.

Com base nos resultados obtidos no campo e em laboratório, é possível observar que as camadas mais profundas (10 a 30 cm) possuem maior RP se comparadas à camada mais superficial (0 a 10 cm). Isto é determinado principalmente pela ação de raízes e fauna do solo, mas também pode ter sido influenciada pela ação do sistema sulcador do IDSL ou da semeadora na camada superficial do solo em cultivos anteriores.

**Figura 17** Resistência à penetração, determinada em laboratório, de um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo.



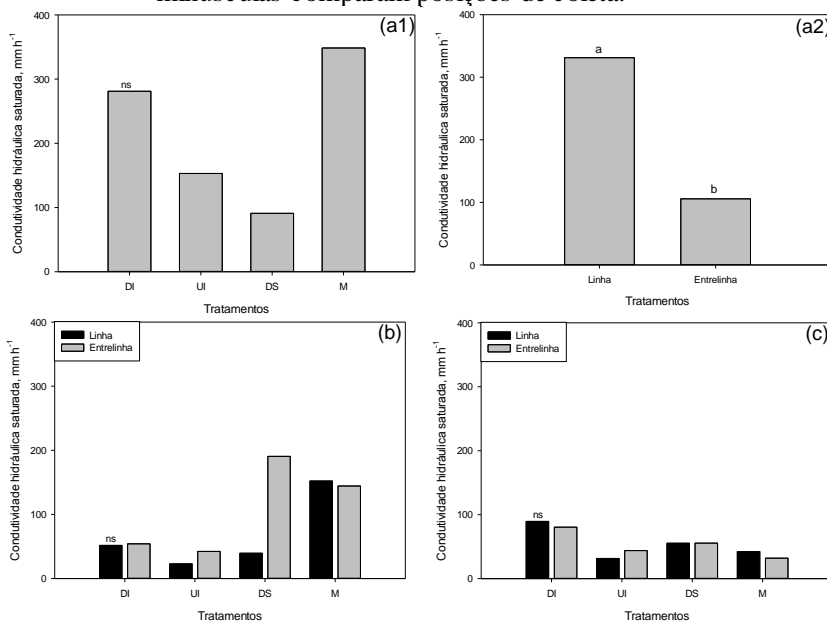
## 6.6 CONDUTIVIDADE HIDRÁULICA SATURADA

Houve efeito significativo da posição de coleta sobre a condutividade hidráulica saturada (CHS) na camada de 0 a 10 cm (Figura 18a2), enquanto os fatores avaliados não apresentaram diferença significativa nas demais camadas. Na média dos tratamentos, a mobilização do solo na linha de injeção do dejetos ou da semeadora, eleva a porosidade total, especialmente o volume de macroporos, os quais são responsáveis pelo fluxo de água na condição de solo saturado.

A maior CHS na linha de aplicação em comparação com as entrelinhas deve-se, principalmente, à desestruturação do solo. Devido ao curto período de tempo entre a implantação e a coleta das amostras (28

dias), não houve tempo suficiente para o solo se reacomodar estruturalmente, de forma que as fendas e a porosidade produzidas pelo rompimento dos agregados proporcionaram maior condutividade hidráulica nessa posição.

**Figura 18** Condutividade hidráulica saturada em um Nitossolo Vermelho Distroférico sob aplicação de dejetos suíno injetado (DI), ureia injetada (UI), dejetos suíno em superfície (DS) e semeadura direta de milho (M), avaliados nas linhas e entrelinhas nas camadas de (a1)(a2) 0 a 10 cm (b) 10 a 20 cm e (c) 20 a 30 cm. <sup>ns</sup> não significativo. \*letras minúsculas comparam posições de coleta.



É importante observar que a desestruturação mecânica do solo, somada a algum tipo de pressão aplicada, pode causar compactação e diminuir a quantidade de poros grandes no interior do solo, processo que tem grande influência na modificação da transmissão da água através do solo (CAMARGO & ALLEONI, 2009). Segundo estes autores, quanto maior a quantidade de macroporos do solo, maior sua CHS. Albuquerque et al. (2001), avaliado sistemas de preparo do solo em

sistema de integração lavoura-pecuária em Nitossolo Vermelho, observaram diminuição da CHS no plantio direto comparado ao preparo convencional e atribuíram isso ao aumento na densidade e diminuição do volume de macroporos do solo.

A adição de ureia ou dejetos, tanto incorporado como em superfície, não alterou a CHS, já que estes tratamentos pouco afetaram os atributos físicos do solo relacionados à porosidade. Resultado semelhante foi verificado por Wei et al. (1985), que enfatizam que são necessárias elevadas taxas de adição de lodo de esgoto ou compostos orgânicos para ocasionar mudanças significativas na condutividade hidráulica do solo saturado.

## **7 CONCLUSÕES**

- 1 - Houve alterações nos atributos relacionados à porosidade e densidade do solo na camada de 0 a 10 cm na linha mobilizada pelos mecanismos sulcadores do injetor de dejetos líquido suíno e da semeadora;
- 2 - Os atributos físicos do solo não diferiram entre a mobilização do solo pelo injetor de dejetos líquidos ou pela semeadora;
- 3 - A aplicação de dejetos injetados no solo modificou a porosidade na faixa de aplicação, especialmente pela criação de poros maiores, diminuição da densidade e aumento da condutividade hidráulica saturada, enquanto o dejetos aplicado em superfície não modificou a estrutura do solo;
- 4 - Não foram observadas diferenças nos atributos físicos entre a injeção de dejetos líquidos e de ureia.

## 8REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIEC, (2013). Disponível em:

<[http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202013\\_jan.pdf](http://www.abiec.com.br/download/Relatorio%20exportacao%202013_jan.pdf)>. Acesso em 20 de julho de 2013.

ALVES, A.G.C.; SILVA, I.F.; ANDRADE, A.P. de; FILHO, O.R.C. Propriedades físicas e químicas de uma Terra Roxa Estruturada sob diferentes coberturas vegetais. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 19, p. 7-16, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7182: Solo: **Ensaio de compactação**. Rio de Janeiro, p.10, 1986.

ACCS, Associação Catarinense de Criadores de Suínos. **Relatório anual**, 2011. [http://www.accs.org.br/editar/arquivos/editar\\_relatorios/Relatorio2011%20OK.pdf](http://www.accs.org.br/editar/arquivos/editar_relatorios/Relatorio2011%20OK.pdf). Acessado em: 06/07/2013.

ADISCOTT, T.M. Entropy and sustainability. **European Journal of Soil Science**, v. 46, p.161-168, 1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; REINERT, D.J.; FLORIN, J.E.; RUEDELL, J.; PETRERE, C. & FONTINELLI, F. Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 1995.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.717-723, 2001.

ANDRADE, A.P. Estoque e frações de carbono e atributos físicos em Nitossolo Vermelho relacionados à aplicação de esterco em sistemas de produção. Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, p.89, 2013. (Tese Doutorado)

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



ARRUDA, C.A.O.; ALVES, M. V.; MAFRA, A.L.; CASSOL, P.C.; ALBUQUERQUE, J.A.; SANTOS, J.C.P. Aplicação de dejetos suíno e estrutura de um Latossolo Vermelho sob semeadura direta. **Ciência e Agrotecnologia**. v.34, p.804-809, 2010.

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

BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (eds). Fundamentos da matéria orgânica do solo. Porto Alegre: **Genesis**, p.9-26. 1999.

BARZEGAR, A.R.; YOUSEFIL, A.; DARYASHENAS, A. The effect of addition of different amounts and types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.247, n.2, p.295-301, 2002.

BEN-HUR, C.C.; REINERT, D.J.; ALBUQUERQUE, J.A.; NICOLODI, R. Avaliação temporal da umidade do solo como consequência do tipo e percentagem de cobertura vegetal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 24, p. 459-463, 1999.

BERTOL, I. SCHICK, J.; MASSARIOL, J. M.; REIS, E.F.; DILY, L. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico álico afetadas pelo manejo do solo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 1, p. 91-95, 2000.

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

BERWANGER, A.L.; CERETTA, C.A.; SANTOS, D.R.; Alterações no teor de fósforo no solo com aplicação de dejetos líquidos de suínos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, nov.-dez., 2008.

BLAKE, G.R.; HARTGE, K.H. Bulk Density. In: KLUTE, A. (ed.). Methods of soil analysis: Physical and Mineralogical Methods. Part 1. Madison: **American Society of Agronomy**, 1986. p. 363-375.

BLENNERHASSETT, J.D. Effect of the different rates of urease and nitrification inhibitors on gaseous emissions of ammonia and nitrous oxide, nitrate leaching and pasture production from urine patches in an intensive grazed pasture system. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, p. 236-246, 2010.

BUSSCHER, W.J.; BAUER, P.J.; CAMP, C.R. & SOJKA, R.E. Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. **Soil & Tillage Research.**, 43:205-217, 1997.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R.F. Compactação do solo e o desenvolvimento de plantas. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 132p.1997.

CAMARGO, O.A.; ALLEONI, L.R. Efeitos da compactação de atributos do solo. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/compSolo/C4/C4.html>. Acesso em: mar. 2009.

CARTER, D.L.; MORTLAND, M. M.; KEMPER, W.D., Specific Surface: Methods of Soil Analysis. **American Society of Agronomy**. 1986.

CARVALHO JÚNIOR, I.A.; FONTES, L.E.F.; COSTA, L.M. Modificações causadas pelo uso e formação de camadas compactadas e, ou, adensadas em um Latossolo Vermelho-Escuro textura média, na região do Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n.3, p. 505-514, 1998.

CASSOL, P.C. et al. Valores de pH e alumínio trocável do solo em função de doses de calcário e de estrumes de bovino, frango e suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DOSOLO. Recife: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2005.

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

CASTAMANN, A. Aplicação de dejetos líquidos de suínos na superfície e no sulco em solo cultivado com trigo. Universidade de Passo Fundo, p.115, 2005. (Dissertação Mestrado).

CASTRO FILHO, C.; COSTA, M.A.T.; CAVIGLIONE, J.H. Potencial fertilizante e alterações físicas nos solos decorrentes da utilização do chorume suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, Ribeirão Preto, 2003. Ribeirão Preto, UNESP/ SBCS, 2003.

CASTRO, O.M. Comportamento físico e químico de um Latossolo Roxo em função do seu preparo na cultura do milho (*Zea mays* l.). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, p.126, 1995. (Tese Doutorado)

CAZARRÉ, M.M. Otimização de lagoas anaeróbias para o tratamento de dejetos de suínos. Departamento de Engenharia Sanitária Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. (Dissertação Mestrado)

CELIK, I.; ORTAS, I. & KILIC, S. Effects of compost, mycorrhiza, manure and fertilize on some physical properties of a Chromoxerert soil. **Soil Tillage Reseacher**. 2004.

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 de aveia-preta/milho/nabo forrageiro com aplicação de dejetos líquidos de suíno. **Ciencia Rural**, 2005.

CERETTA, C.A.; DURIGON, R.; BASSO, C.J.; BARCELLOS, L.A.R.; VIEIRA, F.C.B. Características químicas de solo sob aplicação de dejetos líquidos de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.6, p.729-735, 2003.

CHIAPINOTTO, I. C.; AITA, C.; GUDOLLIN, E. et al. Estercolíquido de suínos como fertilizante na cultura do milho. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24, 2002, Santa Maria. **Resumos...** Santa Maria: UFSM, 2000.

CORSINI, P.C.; FERRAUDO, A.S. Efeitos de sistemas de cultivo na densidade e macroporosidade do solo e no desenvolvimento radicular do milho em Latossolo Roxo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, p.289-298, 1999.

CORRECHEL, V.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Influência da posição relativa à linha de cultivo sobre a densidade do solo em dois sistemas de manejo do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.165-173, 1999.

COSTA, F.S.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; FONTOURA, S.M.V.; WOBETO, C. Propriedades físicas de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p.527-535, 2003.

COSTA, M.S.S.M.; PIVETTA, L.A.; COSTA, L.A.M.; PIVETTA, L.G.; CASTOLDI, G.; STEINER, F. Atributos físicos do solo e produtividade do milho sob sistemas de manejo e adubações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v. 15, n. 8, p.810-815, 2011.

DALLA COSTA, O.A.; DIESEL, R.; LOPES, E.J.C. NUNES, R.C.; HOLDEFER, C.; COLOMBO, S. Sistema intensivo de suínos criados ao ar livre. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves e Extensão. EMATER/RS, n.14, 2002. Boletim Informativo de Pesquisa.

DAMASCENO, F. Injeção de dejetos líquidos de suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nítrico. p.122, 2010. Universidade Federal de Santa Maria. (Dissertação de Mestrado).

DARTORA, V.; PERDOMO, C.C.; TUMELERO, I.L. Manejo de dejetos de suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves e Extensão. EMATER/RS, n. 11, 1998. (Boletim Informativo de Pesquisa).

DENDOOVEN, L.; BONHOMME, E.; MERCKX, R.; VLASSAK, K. Injection of pig slurry and its effects on dynamics of nitrogen and carbon in a loamy soil under laboratory conditions. **Biology and Fertility of Soils**, v. 27, p. 5-8, 1998.

DIESEL, R.; MIRANDA, C.R.; PERDOMO, C.C. Coletânea de tecnologias sobre dejetos suínos. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves e Extensão. EMATER/RS, n. 14, 2002. (Boletim Informativo de Pesquisa).

DORTZBACH, D. Alterações em atributos físicos, químicos e biológicos em solo adubado com dejetos de suíno e ureia sob plantio direto. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Florianópolis, SC, 2009. p.136 (Dissertação Mestrado).

DRESCHER, M.S. Efeito residual de intervenções mecânicas para descompactação do solo manejado sob sistema plantio direto. 2011. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011. (Dissertação de Mestrado).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Brasília: Embrapa Produção de Informação. p.306, 2006.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Brasília, Embrapa Produção de Informações; Rio de Janeiro, Embrapa Solos. 212p. 1997.

ERNANI, P.R.; GIANELLO, C. Diminuição do alumínio trocável do solo pela incorporação de esterco de bovinos e camas de aviário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.7, p.161-165, 1983.

ERNANI, P.R.; Química do solo e disponibilidade de nutrientes. Lages, p.230, 2008.

FACCIN, M. **Sistema de produção**. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE SUINOCULTURA, 5, 2000, São Paulo. São Paulo. p.17-24, 2000.

FIORINI, T.T.; DURIGON, R.; CERETTA C.A.; BARCELLOS, L.A. R.; GOMES, J.V. da S. Produção de massa seca e absorção de nutrientes em campo nativo submetido a aplicações periódicas de doses de esterco

líquido de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 1999, Brasília. Brasília: SBCS, 1999.

Food and Farming Futures. Disponível em: <<http://www.bis.gov.uk/assets/foresight/docs/food-and-farming/11-546-future-of-food-and-farming-report.pdf>>. Acesso em 18 de julho de 2013.

GEE, G.W.; BAUDER, J.W. Particle-size analysis. In: KLUTE, A. Methods of soil analysis. **American Society of Agronomy**, v.1, p. 383-411, 1986.

GENRO JUNIOR, S.A.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M. Variabilidade temporal da resistência à penetração de um Latossolo argiloso sob semeadura direta com rotação de culturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 28, n. 3, p.477-484, mai./jun., 2004.

GIACOMINI, S.J. Avaliação e modelização da dinâmica do carbono e do nitrogênio no solo com o uso de dejetos de suínos. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005. (Tese de Doutorado).

GILLMAN, G.P. The influence of net charge on water dispersible clay and sorbed sulphate. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v. 12, n. 2, p 173-176, 1974.

GOMES, P.C.; MOURA FILHO, W.; COSTA, L.M.; FORTES, M.P.F. Influência da cobertura vegetal na formação e evolução de húmus e sua relação com grau de floculação de um Latossolo Vermelho-Amarelo do Município de Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, n. 235, p. 223-233, 1994.

GONG, W.; YAN, X.; WANG, J.; HU, T.; GONG, Y. Long-term manure and fertilizer effects on soil organic matter fractions and microbes under a wheat-maize cropping system in northern China. **Geoderma**. Amsterdam, v.149, p.318-324, 2009.

GREENLAND, D.J. Soil management and soil degradation. **Journal of Soil Science**, London, v.31, p.301-322, 1981

GUBIANI, P.I.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; GELAIN, N.S.; MINELLA, J.P.G. Permeâmetro de carga decrescente associado a programa computacional para a determinação da condutividade hidráulica do solo saturado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 993-997, 2008.

HAFEZ, A.A.R. Comparative changes in soil-physical properties induced by admixture of manure from various domestic animals. **Soil Science**. v. 118, p. 53-59, 1974.

HARTWIG, N.L.; AMMON, H.U.; 50th Anniversary invited article cover crops and living mulches. **Weed Science**, v. 50, p. 688–699, 2002.

HATI, K.M.; MANDAL, K.G.; MISRA, A. K.; GHOSH, P.K.; BANDYOPADHYAY, K.K. Effect of inorganic fertilizer and farmyard manure on soil physical properties, root distribution, and water-use efficiency of soybean in Vertisols of central India. **Bioresource Technology**, v.97, p.2182-2188, 2006.

HILLEL, D. **Introduction to soil physics**. New York: Academic Press, p.366,1982.

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

IPCC. **Climate Change** .The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2007.

KAISER, D.R. Estrutura e água em Argissolo sob distintos preparos na cultura do milho. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, p.151, 2010. (Tese Doutorado)

KEMPER, W. D. & CHEPIL, W.S. Size distribution of aggregates. In: BLACK,C. A.; EVANS, D.D.; WHITE, J.L.; ENSMINGER, L.E. & CLARK, F.E., eds *Methods of soil analysis: physical and mineralogical*

properties, including statistics of measurement and sampling. Part 1. Madison, **American Society of Agronomy**, p.499, 1965.

KLEIN, V.A. Física do solo. Passo Fundo: Ed. da UPF, p.212, 2008.

KOAKOSKI, A.; SOUZA, C.M.A.; RAFULL, L.Z.L.; SOUZA, L.C.F.; REIS, E.F. Desempenho de semeadora-adubadora utilizando-se dois mecanismos rompedores e três pressões da roda compactadora.

**Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.42, n.5, p.725-731, 2007.

KOCHHANN, R.A.; DENARDIN, J.E. **Implantação e manejo do sistema plantio direto**. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 36p. 2000.

KONZEN, E.A. Alternativas de manejo, tratamento e utilização de dejetos animais em sistemas integrados de produção. Sete Lagoas, Embrapa Milho e Sorgo, p.32, 2000. (Documentos, 5).

KÖPPEN, W. Grundriss der Klimakunde. Berlin, Guyter, p.388, 1936.

LAL, R.; GREENLAND, B.J. Soil physical properties and crop production in tropics. Chichester, John Wiley, p.7-85, 1979.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop productions. **Advances in Soil Science**, n.1, p. 277-294, 1985.

MARTORANO, L.G.; HOMERO BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; FARIA, R.T.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 13, p. 397-405, 2009.

MELLEK, J.E.; DIECKOW, J.; SILVA, V.L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M.; SOUZA, J.L.M. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. **Soil e Tillage Research**, v.110, p. 69-76, 2010.

MELLO de, V.P.; BEUTLER, A.N.; SOUZA de, Z.M.; CENTURION, J.F. & MELO, W.J. Atributos físicos de Latossolos adubados durante



cinco anos com biossólido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.1, p.67-72. 2004.

MOREIRA, F.M.; SIQUEIRA, J.O. **Microbiologia e bioquímica do solo**. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2006.

N'DAYEGAMIYE, A.; CÔTÉ, D. Effect of long term pig slurry and solid cattle manure application on soil chemical and biological properties. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v.69, n.1, p.39-47, 1989.

NUERNBERG, N.J. Efeito de sucessões de culturas e tipos de adubação no rendimento e características de um solo de encosta basáltica Sul-Riograndense. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, p.146, 1983. (Dissertação de Mestrado)

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

OADES, J.M. The role of biology in the formation, stabilization and degradation of soil structure. **Geoderma**, Amsterdam, v. 56, p. 377-400, 1993.

OADES, J.M.; WATERS, S.G. Aggregate hierarchy in soils. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 29, n. 6, p. 815-828, 1991.

OLIVEIRA, P.A.V.D.; HIGARASHI, M.M.; NUNES, M.L.A. Emissão de gases, na suinocultura, que provocam o efeito estufa. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br/cgi-bin/notiprn.pl?/home/httpd1/docs/artigos/2003/artigo-2003-n026.html>>. Acesso em 29 de junho, 2013.

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

OUYANG, D.; MACKENZIE, A.F.; FAN, M. Phytotoxicity of banded urea amended with triple superphosphate and potassium chloride. **Agronomy Journal**, Madison, v.90, p.734-739, 1998.

PAGLIAI, M.; ANTISARI, L.V. Influência dos restos de matéria orgânica nas macro e microestruturas do solo. **Bioresource Technol**, v.43, p.205-13, 1993.

PAGLIAI, M.; LA MARCA, M.; LUCAMANTE, G. **Relações entre estrutura do solo e tempo de aplicação de esterco de suínos.**In: WILLIAMS, J.H. et al (eds). Long term effects of sewage sludge and farm slurries applications. London: Elsevier, p.45-56, 1985.

PANDOLFO, C.M.; BRAGA, H.J.; SILVA JÚNIOR, V.P. da; MASSIGNAM, A.M.; PEREIRA, E.S.; THOMÉ, V.M.R.; VALCI, F.V.A. Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: Epagri, p.13, 2002.

PAVINATO, P.S.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R. Eficiência da utilização de esterco líquido de suínos em pastagem natural em função da estação do ano. In: Reunião brasileira de fertilidade do solo e nutrição de plantas, Santa Maria. Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

PEDROTTI, A.; PAULETTO, E.A.; CRESTANA, S. Resistência mecânica à penetração de um Planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista. Brasileira de Ciência do Solo, n.25,p.521-529, 2001.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.J.M.D. **Considerações sobre a questão dos dejetos e o meio ambiente.** Concórdia: CNPSA/EMBRAPA, p. 223-234,1998.

PERDOMO, C.C.; LIMA, G.J.M.M.D.; NONES, K. Produção de suínos e meio ambiente. In: SEMINÁRIO NACIONAL DESENVOLVIMENTO DA SUINOCULTURA, 9, 2001, Gramado. Gramado: 17 p. 2001.

PICCOLO, A.; MBAGWU, J.S.C. Effects of different organic was teamendments on soil microagregates stability and molecular sizes of humic substances. **Plant and Soil**, v. 123, p.27-37. 1990.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 38 n. 7, p. 857-865, 2003.

PORT, O. Uso de dejetos de suínos em sistema de plantio direto: Volatilização da amônia, N mineral no solo, fornecimento de nutrientes e produtividade de plantas de cobertura e de milho. Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2002. Dissertação (Mestrado em Agronomia).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Campinas: Instituto Agronômico, p.20, 1991.

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

RAUBER, L.P.; PICCOLLA, C.D.; ANDRADE, A.P.; FRIEDERICHS, A.; MAFRA, A.L.; CORRÊA, J.C; ALBUQUERQUE, J.A. Physical properties and organic carbon content of a Rhodic Kandudox fertilized with pig slurry and poultry litter. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. vol.36 n.4 Viçosa, 2012.

REICHERT, J.M.; SUZUKI, L.E.A.S.; REINERT, D.J. Compactação do solo em sistemas agropecuários e florestais: identificação, efeitos, limites críticos e mitigação. **Tópicos Ciência Solo**, v.5 p.49-134, 2007.

REINERT, D.J. & REICHERT, J.M. Propriedades físicas de solos em sistema plantio direto irrigado. In: CARLESSO, R.; PETRY, M.; ROSA, G. & CERETTA, C.A. Irrigação por Aspersão no Rio Grande do Sul, Santa Maria, p.114-131, 2001.

RIBON, A.A.; CENTURION, J.F.; CENTURION, M.A.P.C. e PEREIRA, G.T. Densidade e resistência à penetração de solos cultivados com seringueira sob diferentes manejos. **Acta Scientiarum Agronomy**. v.25 p.13-17, 2003.

RINGROSE-VOASE, A.J. Micromorphology of soil structure: description, quantification, application. **Australian Journal of Soil Research**. v.29 p.777-813, 1991.

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

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

SECCO, D.; REINERT, D.J. Efeitos imediato e residual de escarificadores em Latossolo Vermelho-Escuro sob plantio direto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal v.16, n. 3, p.52-61, 1997.

SECCO, D.; REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; SILVA, V.R. Atributos físicos e rendimento de grãos de trigo, soja e milho em dois Latossolos compactados e escarificados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.1, p.58-64, 2009.

SEGANFREDO, M.A. Os dejetos de suínos são um fertilizante ou um poluente do solo? **Cadernos de Ciência & Tecnologia**. Brasília, p.13, 1999.

SEGANFREDO, M.A. Os dejetos de animais podem causar poluição também nos solos de baixa fertilidade e nos solos profundos, como aqueles da região dos cerrados. Concórdia: Embrapa-Cnpisa, n.292, 2001. (Comunicado Técnico).

SEGANFREDO, M.A. Uso de dejetos suínos como fertilizantes e seus riscos ambientais. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

SCHAEFER, C.E.G.R; SOUZA, C.M.; VALLEJOS, M.F.J.; VIANA, J.H.M.; GALVAO, J.C.C.; RIBEIRO, L.M. Características da porosidade de um Argissolo Vermelho Amarelo submetido a diferentes sistemas de preparo de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p.765-769, 2001.

SCHERER, E.E.; AITA, C.; BALDISSERA, I.T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para

fins de utilização como fertilizante. Florianópolis: Epagri, 1996. 46p. (Boletim técnico, 79).

SCHERER, E.E. Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: bases para adubação dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão. Florianópolis: Epagri, p.49, 1998. (Boletim Técnico, 99).

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.

SILVA, M.A.S.; MAFRA, A.L.; ALBUQUERQUE, J.A.; BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Atributos físicos do solo relacionados ao armazenamento de água em um Argissolo Vermelho sob diferentes sistemas de preparo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 35, n. 3, 2005.

SILVA, V.R. Propriedades físicas e hídricas em solos sob diferentes estados de compactação. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, p.171, 2003. (Tese de Doutorado)

SILVA, V.R.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J. Variabilidade espacial da resistência do solo à penetração em plantio direto. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p.399-406, 2004.

SILVEIRA, D.C.; FILHO, J.F.M.; SACRAMENTO, J.A.A.S.; SILVEIRA, E.C.P. Relação umidade versus resistência à penetração para um Argissolo Amarelo distrocóseo no Recôncavo da Bahia. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v.34, p. 659-667, 2010

SINGH, J. et al. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. **Developments in Soil Science**, v. 32, cap. 15, 2008.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. **Manual de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; URLANI NETO, V. L. Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto - modelo IAA/Planalsucar - Stolf. São Paulo, MIC/IAA/PNMCA-Planalsucar, 8p.1983. (Boletim, 1)

TAO, X.; MATSUNAKA, T.; SAWAMOTO, T. Dicyandiamide application plus incorporation into soil reduces N<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> emissions from anaerobically digested cattle slurry. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 48, p.169-174, 2008.

TEDESCO, M.J; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p.174,1995.

TISOTT, A.R.; CERETTA, C.A.; BARCELLOS, L.A.R.; MEDEIROS, C.; BASSO, C.J.; GOMES, J.V. da S. Melhoramento de Campo nativo com aplicação de esterco líquido de suínos na Região da Depressão Central do Rio Grande do Sul. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 24, 1997, Rio de Janeiro. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997.

TORMENA, C.A.; ROLOFF, G.; SÁ, J.C.M. Propriedades físicas do solo sob plantio direto influenciadas por calagem, preparo inicial e tráfego. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, p. 301-309, 1998.

UEHARA, G.; GILLMAN, G.P. Charge characteristics of soils with variable and permanent charge minerals: I. Theory. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v.44, n.2, p.250-252, 1980.

VEIGA, M. ; HORN, R. ; REINERT, D. J. ; REICHERT, J. M. . Soil compressibility and penetrability of an Oxisol from southern Brazil, as affected by long-term tillage systems. **Soil & Tillage Research**, Amsterdam, v. 92, p. 104-113, 2007.

VEIGA, M.;REINERT, D.J.; REICHERT, J.M.; KAISER, D.R. Short and long-term effects of tillage systems and nutrient sources on soil physical properties of a Southern Brazilian Hapludox. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, n. 4, p.1437-1446, jul./aug, 2008.

VIEIRA, F.C.B.; CERETTA, C.A.; DURIGON, R. et al. Sucessivas aplicações de esterco líquido de suíno e seu efeito sobre algumas características químicas de um solo sob pastagem natural. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, Santa Maria. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência do Solo Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000.

WHALEN, J.K.; CHI CHANG, G.W. CLAYTON, J.; CAREFOOT, P. Cattle manure amendments can increase the pH of acid soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v.64, p.962-966, 2000.

WEBB, J.; WEBB, J.; PAIN, B.; BITTMAN, S.; MORGAN, J. The impacts of manure application methods on emissions of ammonia, nitrous oxide and on crop response – A review. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 137, p. 1-2, 2010.

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

WEI, Q.F.; LOWERY, B.; PETERSON, A.E. Effect of sludge application on physical properties of a silty clay loam soil. **Journal of Environmental Quality**, v. 14, p. 178-180, 1985.

YODER, R.E. A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. **Journal American Society of Agronomy**, v.28 p.337-351, 1936.

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

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

**ANEXOS**



**Anexo A** Coeficiente de variação (CV, %) da densidade do solo, porosidade, resistência a penetração (laboratório), diâmetro médio geométrico (DMG) e condutividade hidráulica saturada em Nitossolo Vermelho Distroférrico- Concórdia - SC, nas camadas 0 a 10, 10 a 20 e 20 a 30 cm.

Atributos	Camada (cm)		
	0 a 10	10 a 20	20 a 30
Densidade do solo	9	6	5
Volume de microporos	9	4	4
Porosidade total	5	4	4
Volume de macroporos	37	34	22
Volume de bioporos	52	43	24
Resistência à penetração (laboratório)	44	35	25
Diâmetro médio geométrico	3	4	21
Condutividade hidráulica saturada	96	113	135

**Anexo B** Coeficiente de variação (CV, %) da resistência mecânica a penetração a campo média de cada profundidade (Prof.cm) para o Nitossolo Vermelho Distroférrico - Concórdia-SC.

Prof.	CV	Prof.	CV
1	57	16	14
2	52	17	13
3	49	18	12
4	42	19	12
5	39	20	14
6	38	21	15
7	35	22	15
8	34	23	15
9	32	24	15
10	28	25	14
11	25	26	14
12	24	27	13
13	22	28	13
14	20	29	13
15	17	30	13

