

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

**ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O  
FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO E  
TRIGO POR DEJETOS DE SUÍNOS E REDUZIR A  
EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Janquieli Schirmann**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

**PPGCS/UFSM, RS**

**SCHIRMANN, Janquiel**

**Mestre**

**2012**

**ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O FORNECIMENTO DE  
NITROGÊNIO AO MILHO E AO TRIGO POR DEJETOS DE  
SUÍNOS E REDUZIR A EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO  
SOLO**

**Janquieli Schirmann**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração Biodinâmica e Manejo do Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo.**

**Orientador: Dr. Celso Aita**

**Santa Maria, RS, Brasil  
2012**

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

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

**ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O FORNECIMENTO DE  
NITROGÊNIO AO MILHO E AO TRIGO POR DEJETOS DE SUÍNOS E  
REDUZIR A EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

elaborada por  
**Janquieli Schirmann**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de  
**Mestre em Ciência do Solo**

COMISSÃO EXAMINADORA

**Celso Aita, Dr.**  
(Presidente/Orientador)

**Sandro José Giacomini, Dr. (UFSM)**

**Cimélio Bayer, Dr. (UFRGS)**

Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

## AGRADECIMENTOS

A Deus pela força que me faz seguir sempre em frente.

Aos meus pais Ivanor e Miria pelo incentivo, carinho, educação e valores passados ao longo da vida. Aos meus irmãos Jader e Jonathan pela convivência, apoio e companheirismo. Agradecimentos estendidos a minha avó Jurema e aos meus tios. Amo muito vocês.

Ao professor Celso Aita pela orientação, ensinamentos e auxílio prestado no decorrer deste trabalho. Seus elogios e suas críticas contribuíram muito ao meu crescimento pessoal.

Ao professor Sandro Giacomini pela co-orientação, pelas sugestões e ajuda.

Ao meu amor Douglas pelas palavras de motivação, companheirismo, convivência agradável, momentos de alegria e descontração, pela ajuda prestada e por todo amor. Não há palavras para expressar minha gratidão a você. Agradecimentos estendidos a toda tua família.

Aos amigos e pós-graduandos do laboratório de microbiologia Alexandre Doneda, Rogério Gonzatto, Ezequiel (Keko), Rafael (Cantú), Eduardo Lorensi, Mariangela. Todos vocês de alguma forma ajudaram para que este trabalho fosse realizado.

Ao grande amigo Stefen Pujol pela amizade, ajuda, apoio, palavras de motivação, pela calma em ensinar e pelas conversas no fim de tarde.

Aos amigos e bolsistas do laboratório de microbiologia Diego, Juliano, Patrícia, Thiago, Paula, Alexandre, Adônis, Roberto, Géssica, Eduarda, Fabrício. Vocês não mediram esforços para me ajudar. Sem vocês este trabalho não teria sido realizado. Agradeço muito a cada um de vocês e sentirei muito a falta de todos.

Aos amigos do laboratório de microbiologia “Grupo do Sandro Giacomini” Raquel, Willian, Aílson, Guilherme, Ricardo, Vagner, Getúlio, Giordani, Luana, Leonardo, Pedro, Alex, Bruno, pelas risadas e momentos de descontração no laboratório.

Aos amigos Gabriel, Genuir e Fabiano pela amizade e convívio.

Ao André Hubner (*in memoriam*) pelos ensinamentos e exemplo de dedicação e determinação.

Aos funcionários e amigos do Departamento de Solo, Rose, Paulo Giacomini (Paulinho), Carlos Vargas, Luis Finamor e Héverton pela amizade, conversas e pela ajuda.

As minhas amigas e colegas de graduação Cláudia Barros (Dinha) e Marília Milani (Mah) pela amizade, companheirismo, conversas e pelos mates que vão fazer muita falta.

A minha amiga que mesmo distante me deu muita força Karine Bonato.

Aos amigos Maurício, Daiane Pinheiro, Daiane Dias, Mike, Rodrigo, Davi pela amizade e momentos de descontração.

Aos colegas e amigos da pós-graduação Cláudia (Dinha), Daniel Pazzini, Douglas, Jackson, Manuele, Alessandro, Andressa, Matheus Pontelli, Gustavo, Felipe, Tales.

**A todos vocês, obrigada de coração!**

Jamais considere seus estudos como uma obrigação,  
mas como uma oportunidade invejável  
para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito,  
para seu próprio prazer pessoal e  
para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.

Albertt Einstein

#### A Lógica de Einstein

Conta certa lenda, que estavam duas crianças patinando num lago congelado.  
Era uma tarde nublada e fria, e as crianças brincavam despreocupadas.  
De repente, o gelo quebrou e uma delas caiu, ficando presa na fenda que se formou.  
A outra, vendo seu amiguinho preso, e se congelando, tirou um dos patins e começou a golpear o gelo com todas as suas forças, conseguindo por fim, quebrá-lo e libertar o amigo.  
Quando os bombeiros chegaram e viram o que havia acontecido, perguntaram ao menino:  
- Como você conseguiu fazer isso? É impossível que tenha conseguido quebrar o gelo, sendo tão pequeno e com mãos tão frágeis!  
Nesse instante, um ancião que passava pelo local, comentou:  
- Eu sei como ele conseguiu.  
Todos perguntaram:  
- Pode nos dizer como?  
- É simples: - respondeu o velho.  
- Não havia ninguém ao seu redor para lhe dizer que não seria capaz.

Albert Einstein

## **RESUMO**

Dissertação de Mestrado  
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo  
Universidade Federal de Santa Maria

### **ESTRATÉGIAS PARA MELHORAR O FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO E AO TRIGO POR DEJETOS DE SUÍNOS E REDUZIR A EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

AUTOR: JANQUIELI SCHIRMANN

ORIENTADOR: CELSO AITA

Data e local da defesa: Santa Maria, 28 de fevereiro de 2012.

Os dejetos de suínos constituem uma importante fonte de nitrogênio (N) às culturas, embora o seu uso inadequado possa acarretar em perdas de N que poluem o ambiente e reduzem o poder fertilizante dos dejetos. A sustentabilidade da suinocultura depende de estratégias que melhorem o aproveitamento do N dos dejetos líquidos de suínos pelas culturas e que possam mitigar o impacto ambiental negativo provocado pelo seu uso agrícola. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito da forma de aplicação dos dejetos líquidos de suínos (Dls) e do uso de inibidor de nitrificação (IN) sobre o acúmulo de N, a produtividade e as emissões de óxido nitroso ( $N_2O$ ) no cultivo do milho e do trigo em plantio direto. A pesquisa foi conduzida de novembro de 2010 a novembro de 2011 em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico. Os tratamentos aplicados no milho e no trigo foram: 1) testemunha; 2) Dls em dose única (pré-semeadura); 3) Dls em dose parcelada (1/3 pré-semeadura e 2/3 cobertura); 4) Dls em dose única + IN; 5) Dls em dose parcelada + IN e 6) N-uréia + PK. O produto “Agrotain Plus”, que contém em sua formulação 81 % do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD), foi misturado aos dejetos na dose de  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ . A aplicação dos dejetos aumentou o acúmulo de N e a produtividade do milho e do trigo, apresentando resultados similares à uréia. Todavia, as emissões de  $N_2O$  aumentaram com a aplicação dos dejetos de suínos e da uréia. O parcelamento da dose de Dls e o uso do inibidor de nitrificação não afetaram o acúmulo de N e a produtividade do milho e do trigo, mas o parcelamento da dose de dejetos mostrou-se eficiente na redução das emissões de  $N_2O$  no trigo. O inibidor de nitrificação reduziu os fluxos de  $N_2O$  no milho e no trigo, nas duas modalidades de aplicação dos dejetos. Em média, o uso do inibidor de nitrificação reduziu as emissões de  $N_2O$  em 15,5 % no milho e 45,0 % no trigo. Os resultados deste trabalho mostram que a estratégia de adicionar a dicianodiamida (DCD) no momento da aplicação dos dejetos de suínos no campo pode reduzir o impacto ambiental negativo provocado pelo uso agrícola dos dejetos.

Palavras Chave: Dicianodiamida, aplicação parcelada de dejetos, emissão de  $N_2O$ , desnitrificação.

## **ABSTRACT**

Master Dissertation

Graduate Program in Soil Science  
Federal University of Santa Maria

### **STRATEGIES FOR IMPROVING NITROGEN SUPPLY TO CORN AND WHEAT FROM PIG MANURE AND TO REDUCE SOIL NITROUS OXIDE EMISSIONS**

**AUTHOR: JANQUIELI SCHIRMANN**

**ADVISOR: CELSO AITA**

**Date: Santa Maria, 2012-02-28.**

The swine manure is a major source of nitrogen (N) to crops, although its inappropriate use can lead to N losses which in return pollute environment and reduces its value as organic fertilizer. The sustainability of pig farming depends on strategies that could improve crops N utilization from pig slurry and mitigate harmful environmental impact caused by its use. The objective of this study was to evaluate the effect of full and split pig slurry (PS) application in no-till corn and wheat, with and without nitrification inhibitor (NI), on: N accumulation, productivity, and nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions. The study was conducted from November 2010 to November 2011 on a typic Hapludalf. The treatments used in corn and wheat were: 1) control; 2) PS full (pre-planting); 3) PS split (1/3 at pre-planting and 2/3 sidedressing); 4) PS full + NI; 5) PS split + IN; 6) mineral NPK. Agrotain Plus was used as NI as it contains 81 % of dicyandiamide (DCD). It was used at a rate of 7 kg ha<sup>-1</sup>. The use of PS increased N accumulation and yield of maize/wheat crops and were at par with NPK mineral fertilizer. However, N<sub>2</sub>O emission was increased with PS and NPK application. Split application of PS and NI did not affected N accumulation and yield of maize and wheat crops however splitting of PS reduced N<sub>2</sub>O emissions from wheat crop. The use of NI reduced N<sub>2</sub>O soil emissions in both crops and in the two methods of PS application. On an average, N<sub>2</sub>O emission was reduced by 15.5% and 45.0 % in maize and wheat, respectively. From the results it was apparent that, the strategy of combining NI with PS could reduce environmental implications associated with the sole use of PS.

**Keywords: DCD, pig slurry split application, N<sub>2</sub>O emission, denitrification.**

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO I

Figura 1. Precipitações ocorridas, precipitações médias dos últimos 30 anos para o período e temperatura média do ar durante os cultivos do milho e do trigo. .... 17

Figura 2. Produção de matéria seca de palha e grãos de trigo (a) e acúmulo de N (b) em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura em cada tratamento. Na colheita, as letras minúsculas comparam a palha e as maiúsculas os grãos. .... 25

### ARTIGO II

Figura 1. Emissões de N<sub>2</sub>O, precipitação diária e temperatura média do ar durante o período de avaliação. As letras e siglas indicam A: aplicação dos dejetos líquidos de suínos (Dls), adubação mineral (NPK) e inibidor de nitrificação (In); S: semeadura; R: reaplicação dos Dls e N-uréia e C: colheita..... 42

Figura 2. N-Mineral (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e espaço poroso saturado por água (EPSA) na camada 0-0,1 m nos primeiros 60 dias de cultivo do milho e 70 dias de cultivo do trigo. As letras e siglas indicam A: aplicação dos dejetos líquidos de suínos (Dls), adubação mineral (NPK) e inibidor de nitrificação (In); S: semeadura; R: reaplicação dos Dls e N-uréia..... 44

Figura 3. Emissão acumulada de N-N<sub>2</sub>O após aplicação dos dejetos líquidos de suínos no milho (a) e no trigo (b). A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste LSD 5 % . .... 45

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO I

Tabela 1. Composição dos dejetos de suínos e quantidades aplicadas de carbono (C), matéria seca (MS) e nitrogênio (N) nas doses utilizadas em aplicação única e parcelada no milho e no trigo. .... 18

Tabela 2. Produtividade e acúmulo de N pelo milho em cada tratamento..... 21

Tabela 3. Recuperação do N aplicado com os dejetos de suínos pelas culturas do milho e do trigo e teores de proteínas nos grãos dessas duas culturas. .... 26

### ARTIGO II

Tabela 1. Concentração de matéria seca (MS) relação C/N, pH dos dejetos e quantidades de MS, carbono (C) e nitrogênio (N) adicionada ao solo em dose única (pré-semeadura) e parcelada (pré-semeadura e cobertura) dos dejetos, no cultivo do milho e do trigo. .... 38

Tabela 2. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O e fator de emissão (% do N aplicado) durante o cultivo do milho e do trigo. As letras indicam a diferença estatística pelo Teste LSD 5%. .... 47

### DISCUSSÃO

Tabela 1. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O, produtividade de grãos e relação entre as emissões de N-N<sub>2</sub>O e a produtividade de grãos no milho e no trigo..... 58

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL .....	9
2. ARTIGO I - INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS VISANDO MELHORAR O FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO E AO TRIGO .....	12
2.1. <b>Resumo</b> .....	12
2.2. <b>Summary</b> .....	13
2.3. <b>Introdução</b> .....	14
2.4. <b>Material e Métodos</b> .....	16
2.5. <b>Resultados e Discussão</b> .....	20
2.5.1. Acúmulo de N e produtividade do milho .....	20
2.5.2. Acúmulo de N e produtividade do trigo.....	23
2.5.3. Recuperação pelas culturas do milho e do trigo do N aplicado com os dejetos e com a uréia .....	25
2.6. <b>Conclusões</b> .....	29
2.7. <b>Literatura Citada</b> .....	30
3. ARTIGO II – INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS NO MILHO E NO TRIGO VISANDO REDUZIR A EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO .....	33
3.1. <b>Resumo</b> .....	33
3.2. <b>Summary</b> .....	34
3.4. <b>Material e Métodos</b> .....	37
3.4.1. Experimento .....	37
3.4.2. Emissão de Óxido Nitroso.....	39
3.5. <b>Resultados</b> .....	41
3.5.1. Fluxo anual de N <sub>2</sub> O durante o cultivo do milho e do trigo .....	41
3.5.2. Efeito da forma de aplicação dos dejetos nas emissões de N <sub>2</sub> O.....	41
3.5.3. Efeito do inibidor de nitrificação (DCD) nas emissões de N <sub>2</sub> O.....	43
3.5.4. Dinâmica do N mineral no solo e EPSA.....	43
3.5.5. Emissão acumulada de N <sub>2</sub> O e fator de emissão .....	44
3.6. <b>Discussão</b> .....	48
3.6.1. Fluxo anual de N <sub>2</sub> O.....	48
3.6.2. Influência da forma de aplicação de N na emissão de N <sub>2</sub> O .....	49
3.6.3. Influencia do inibidor de nitrificação nas emissões de N <sub>2</sub> O .....	50
3.6.4. Emissão cumulativa de N <sub>2</sub> O e fator de emissão .....	51
3.7. <b>Conclusões</b> .....	53
3.8. <b>Literatura Citada</b> .....	54
4. <b>DISCUSSÃO</b> .....	57
5. <b>CONCLUSÕES GERAIS</b> .....	58
6. <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	59

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de suínos, apresentando cerca de 38,9 milhões de cabeças (IBGE, 2010), com sua produção concentrada principalmente na região Sul. Atualmente, o grande desafio da suinocultura brasileira é tornar sua produção sustentável. Ao mesmo tempo em que há uma grande pressão sobre os suinocultores para adoção de sistemas de criação intensivos, devido à crescente demanda mundial por alimentos, existe a necessidade que estes sistemas não poluam o ambiente (OLIVEIRA & NUNES, 2006).

Considerando o plantel brasileiro e a produção de 7 litros suíno<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> de dejetos (KONZEN et al., 1997), são produzidos anualmente no país cerca de 99 milhões de m<sup>3</sup> de dejetos, sendo que 47,6 milhões de m<sup>3</sup> (48 %) são gerados apenas na região Sul. Os dejetos são manejados principalmente na forma líquida, devido à lavagem freqüente das instalações para sua higienização e, em função disto, são armazenados preferencialmente em esterqueiras anaeróbicas ou em lagoas, para posterior aplicação no solo (KUNZ et al., 2005).

Aplicações adequadas de dejetos de suínos no solo podem proporcionar rendimentos satisfatórios às culturas, substituindo parcialmente ou completamente a fertilização mineral (DAUDÉN & QUÍLEZ, 2004; BERENGUER et al., 2008). Isto porque, os dejetos apresentam elementos essenciais para o crescimento das plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, entre outros (SÁNCHEZ, GONZÁLES, 2005). O nitrogênio é o elemento que geralmente aparece em maior quantidade nos dejetos de suínos, sendo um dos fatores que torna os cultivos responsivos à aplicação dos dejetos. O N é frequentemente o nutriente que mais limita o desenvolvimento das gramíneas em solos agrícolas.

O manejo inadequado dos dejetos de suínos pode acarretar em perdas de N, com impactos negativos na qualidade do ambiente e no fornecimento de N às culturas. No Brasil, os dejetos de suínos são geralmente utilizados no cultivo de pastagens e culturas anuais como milho e trigo sendo aplicados em dose única, antecedendo a semeadura. Após a aplicação dos dejetos no solo o N amoniacal é nitrificado rapidamente, podendo atingir taxas de até 4,8 kg de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ha<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Aita et al., 2007). Desta forma, a aplicação dos dejetos em dose única, antecedendo a semeadura, pode potencializar as perdas de N dos dejetos, pois este estará disponível na forma de nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) em um período de baixa demanda de N pela planta. O manejo inadequado dos dejetos possibilita que, normalmente menos de 50 % do N presente nos mesmos seja recuperado pelas plantas (OENEMA et al., 2007). O restante pode ser

perdido na forma de gases como amônia, óxidos de N e N<sub>2</sub> ou por escoamento e lixiviação, contaminando corpos d'água com nitrato, amônio e N orgânico (VELTHOF; MOSQUERA, 2011).

A volatilização de amônia é uma das principais vias de perda de N após a aplicação dos dejetos no solo (MATTILA, 2006), reduzindo seu potencial fertilizante e trazendo problemas ambientais. Isto porque, a amônia pode provocar a eutrofização de ecossistemas aquáticos (YANG et al., 2003) e também pode ser fonte indireta de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) (IPCC, 2006). O óxido nitroso, produzido durante os processos microbiológicos de nitrificação e de desnitrificação, é um dos principais gases causadores do efeito estufa, além de agir na destruição da camada de ozônio. A adição de N ao solo, tanto a partir de fontes orgânicas, como os resíduos culturais e os dejetos de animais como inorgânicas, como os fertilizantes sintéticos, aumenta as emissões de N<sub>2</sub>O em solos agrícolas (MOSIER et al., 1998). A intensidade das emissões de N<sub>2</sub>O é dependente de muitos fatores como: tipo e manejo do fertilizante nitrogenado dos dejetos e dos resíduos culturais, culturas antecedentes, condições de clima e propriedades do solo. Desta forma, é importante quantificar e entender o efeito do manejo e das estratégias de uso agrícola dos dejetos de animais como fonte direta e indireta de N<sub>2</sub>O.

Há necessidade de se desenvolver estratégias que melhorem a eficiência do N, mantendo o poder fertilizante dos dejetos e reduzindo os riscos ambientais após sua aplicação no solo. Segundo Zebarth et al. (2007), um dos caminhos mais efetivos para reduzir as perdas ambientais de N é sincronizar o fornecimento de N com a demanda pela cultura. A quantidade de N requerida logo após a semeadura é baixa sendo mais pronunciada nos estádios seguintes de crescimento (LOPEZ-BELLIDO, 2005). Consequentemente, o potencial de perda de fertilizantes nitrogenados é maior quando este é aplicado na semeadura (GARABET et al., 1998). No caso dos dejetos de suínos, pode-se formular a hipótese de que a prática de aplicação parcelada resulte em maior eficiência no uso do N pelas culturas e em menores perdas desse nutriente para o ambiente do que a sua aplicação em dose única, no momento da semeadura, como é feito atualmente.

O uso de inibidores de nitrificação é outra estratégia que visa minimizar as perdas de N e melhorar a eficiência dos dejetos de suínos como fonte de N às culturas. Os principais compostos conhecidos por inibirem a nitrificação incluem a nitrapirina, a dicianodiamida (DCD) e o DMPP, além de inibidores biológicos da nitrificação. A dicianodiamida é o produto mais utilizado em países como a Nova Zelândia por ser barata, apresentar baixa volatilidade e ser solúvel em água (GILTRAP et al., 2010). Ela inibe o primeiro passo da

nitrificação, realizado por *Nitrosomonas* spp., que consiste na oxidação de amônio para nitrito, atuando sobre a enzima amônia monooxigenase. Estudos comprovam que o uso de DCD com dejetos de animais reduz a emissão de  $N_2O$  (MERINO et al., 2001; VALLEJO et al., 2005), sendo que a eficiência e a duração do efeito do produto na inibição da nitrificação dependem das condições ambientais, principalmente da temperatura (KELLIHER et al., 2008) e da umidade do solo, já que o princípio ativo da DCD é solúvel em água e biodegradável. Por isso, a importância em testar a eficiência da DCD em experimentos de campo, principalmente nas condições de solo e clima do Sul do Brasil.

Para manter a rentabilidade da suinocultura e, ao mesmo tempo, preservar o ambiente, os produtores terão que adotar melhores práticas de gestão dos dejetos. Desta forma, é importante testar as diversas alternativas disponibilizadas aos produtores para selecionar aquelas que tragam mais benefícios ambientais e econômicos ao próprio produtor e à sociedade como um todo. A gestão das perdas de N dos dejetos constitui um desafio permanente para governantes, pesquisadores e produtores. O trabalho teve por objetivo avaliar o uso do inibidor de nitrificação e a aplicação parcelada dos dejetos de suínos como estratégias para reduzir a emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ) e melhorar o fornecimento de N ao milho e ao trigo em plantio direto.

## **2. ARTIGO I - INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS VISANDO MELHORAR O FORNECIMENTO DE NITROGÊNIO AO MILHO E AO TRIGO**

### **2.1. Resumo**

Nas áreas com produção intensiva de suínos, os dejetos líquidos dos animais constituem uma importante fonte de nitrogênio (N) às culturas e também uma das principais causas de poluição do solo, do ar e da água. É preciso buscar estratégias que reduzam as perdas de N deste material orgânico para o ambiente e que melhorem a sua eficiência agrônômica, relativa ao fornecimento de N às culturas comerciais. O objetivo deste estudo foi avaliar o efeito do uso de inibidor de nitrificação (IN) e da aplicação parcelada de dejetos líquidos de suínos (Dls) sobre o acúmulo de N e a produtividade de milho e trigo em plantio direto. Os tratamentos avaliados constaram da aplicação da dose recomendada de Dls em aplicação única (pré-semeadura) e parcelada (1/3 em pré-semeadura e 2/3 em cobertura), com e sem IN. Além destes quatro tratamentos, foi avaliado um tratamento com adubação mineral (NPK) recomendada ao milho e ao trigo e outro sem IN e sem fertilizantes (testemunha). O produto “Agrotain Plus”, contendo na sua formulação 81 % do IN dicianodiamida (DCD) foi misturado aos dejetos, na dose de 7 kg ha<sup>-1</sup>. A aplicação de Dls, em dose única ou parcelada, aumentou o acúmulo de N e a produtividade de milho e trigo, proporcionando resultados similares aos observados com a adubação mineral recomendada às duas culturas. As estratégias de parcelar a dose recomendada de Dls ao milho e ao trigo e de usar a DCD para inibir a nitrificação não afetaram o acúmulo de N e a produtividade do milho e do trigo em plantio direto.

Palavras chave: adubação orgânica, dejetos líquidos de suínos, plantio direto, dicianodiamida (DCD)

## **Nitrification inhibitor and split application of pig slurry to improve nitrogen utilization by corn and wheat**

### **2.2. Summary**

In the areas of intensive pig production, the pig slurry is an important source of nitrogen (N) to crops and also a major cause of soil, air and water pollution. You need to find strategies to reduce N losses from this organic material to the environment and to improve its agronomic efficiency as N source to crops. The objective of this study was to evaluate the effect of the nitrification inhibitor (IN) use and the split application of pig slurry (PS) on N accumulation and productivity of no-till corn and wheat. The treatments evaluated consisted of the application of the recommended dose of PS in a single (pre-planting) and split application (1/3 pre-planting and 2/3 sidedress), with and without IN. Besides these four treatments was evaluated one treatment with mineral fertilizer (NPK) recommended for corn and wheat and another treatment without IN and fertilizer (control). The product "Agrotain Plus", containing in its formulation 81 % of IN dicyandiamide (DCD), was mixed with pig slurry, at a dose of 7 kg ha<sup>-1</sup>. The application of PS, in pre-planting and pos-emergence, increased N accumulation and productivity of corn and wheat, providing similar results to those observed with mineral fertilization recommended of these two crops. The strategies to split application of recommended dose of PS to corn and wheat and to use of DCD to inhibit nitrification did not affected N accumulation and yield of no-till corn and wheat.

Keywords: organic manure, pig slurry, no-tillage, dicyandiamide (DCD)

### 2.3. Introdução

A expansão sustentável da suinocultura no Sul do Brasil depende de alternativas tecnológicas que resultem na redução do impacto ambiental negativo provocado pelos dejetos gerados por essa atividade. Isso porque nas regiões com suinocultura intensiva os animais são criados em regime de confinamento total, concentrando grandes volumes de dejetos líquidos em pequenas áreas. Somente no estado do Rio Grande do Sul, o rebanho de suínos em 2008 era de 5,3 milhões de cabeças (IBGE, 2010). Assumindo uma produção média de dejetos líquidos por animal de 7 litros  $\text{dia}^{-1}$  (Konzen et al., 1997) esse rebanho geraria anualmente 13,5 milhões de toneladas de dejetos, constituídos pela mistura de fezes, urina, sobras de ração e de água das instalações.

O teor elevado de nutrientes dos dejetos, o alto custo dos fertilizantes manufaturados e as restrições impostas pelos órgãos ambientais atualmente fazem com que o uso agrícola dos dejetos, como fertilizante das culturas comerciais, seja o principal destino dado aos mesmos. Na primavera/verão, a maior parte dos dejetos é aplicada no milho, em função da estreita relação de dependência da suinocultura com essa cultura. Como, na maioria das propriedades, a produção de dejetos é contínua durante o ano e o volume das estruturas de armazenamento dos mesmos é limitado, eles são aplicados também em culturas de outono/inverno, com destaque para o trigo e aveia.

Em função do teor elevado de nitrogênio (N) dos dejetos líquidos de suínos e da demanda elevada de N pelas culturas do milho e trigo, estas respondem significativamente à aplicação dos dejetos na maioria das situações, tanto no acúmulo de N quanto na produção de fitomassa aérea e de grãos (Berenguer et al., 2008; Yagüe & Quílez, 2010; Meade et al., 2011). Todavia, uma constatação da maioria dos trabalhos refere-se à baixa recuperação pelas culturas do N aplicado ao solo com os dejetos (Zebarth et al., 1996; Yagüe & Quílez, 2010; Meade et al., 2011), o que tem sido atribuído às perdas de N por lixiviação de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (Meade et al., 2011), volatilização de amônia ( $\text{NH}_3$ ) (Sutton et al., 1982) e desnitrificação (Mooleki et al., 2002). Tais perdas, além de reduzirem o potencial fertilizante dos dejetos, podem resultar em poluição da água pelo  $\text{NO}_3^-$  e do ar pela amônia e, principalmente, pelo óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), cujo potencial de aquecimento global é aproximadamente 300 vezes superior ao do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Além disso, a imobilização microbiana do N dos dejetos também pode contribuir à redução da disponibilidade de N dos dejetos às culturas (Daudén & Quílez, 2004). Portanto, mitigar as perdas de N após a aplicação dos dejetos

significa preservar o seu valor fertilizante como fonte de N e, ao mesmo tempo, reduzir o seu impacto ambiental negativo.

Alguns aspectos inerentes aos dejetos líquidos de suínos contribuem ao elevado potencial poluidor dos mesmos, relativamente ao N, quando eles são utilizados como fertilizantes. O primeiro está ligado à dieta altamente protéica dos animais, o que implica na produção de dejetos (fezes + urina) com teor elevado de N. O segundo está ligado à forma como os dejetos são armazenados até a sua aplicação no campo, com predominância de lagoas e, principalmente, esterqueiras anaeróbicas. Nesses ambientes, a deficiência de oxigênio ( $O_2$ ) limita a ação das bactérias nitrificadoras, o que resulta no acúmulo de N na forma amoniacal ( $NH_3 + NH_4^+$ ). Ao analisarem diversas amostras de dejetos líquidos de suínos, Mooleki et al. (2002) constaram que de 39 a 98 % do N total dos dejetos estava na forma amoniacal, com um valor médio de 60 %. Por último, cabe destacar a rápida oxidação desse N amoniacal dos dejetos até  $NO_3^-$  pelas bactérias nitrificadoras após a aplicação dos mesmos no solo, conforme constataram Aita et al. (2007).

Algumas alternativas vêm sendo avaliadas pela pesquisa visando reduzir as perdas de N e o impacto ambiental decorrente do uso dos dejetos de suínos, principalmente como fonte de N às culturas. A incorporação e a injeção dos dejetos no solo podem reduzir a volatilização de  $NH_3$  em pelo menos 90 % (Webb et al., 2010), embora elas possam aumentar as perdas de N por desnitrificação (Wulf et al., 2002). O uso de inibidores de nitrificação no momento da aplicação dos dejetos pode reduzir as emissões de  $N_2O$  (Vallejo et al., 2005; Damasceno, 2010), que podem ocorrer tanto durante a nitrificação do N amoniacal dos dejetos quanto durante a desnitrificação (Arcara et al., 1999). A redução na taxa de nitrificação até que a planta atinja a fase de maior crescimento aumentará a oportunidade desta em absorver o  $NO_3^-$  (Subbarao et al., 2006). Todavia, a manutenção do N dos dejetos de animais na forma amoniacal por mais tempo possa aumentar as perdas de N por volatilização de  $NH_3$  (Zaman et al., 2009; Damasceno, 2010).

O parcelamento da dose recomendada de dejetos, ao invés da sua aplicação em dose única antecedendo a semeadura das culturas, também parece ser uma alternativa promissora com vistas à redução das perdas de N. Isso porque a aplicação dos dejetos em cobertura ocorre quando o dossel vegetativo das culturas já protege o solo da ação do sol e do vento, que são dois agentes importantes no favorecimento da emissão de  $NH_3$  para a atmosfera. Além disso, nesse estágio de desenvolvimento, as culturas podem absorver maiores quantidades de  $NO_3^-$  do solo, reduzindo a possibilidade de lixiviação desse ânion bem como da sua redução para formas gasosas de N através da ação de bactérias desnitrificadoras. Para

Schröder (1999) a sincronização entre o fornecimento de N pelo solo e a demanda de N pelas culturas pode ser melhorada pela aplicação parcelada do N. Conforme Deen et al. (2008) o interesse na aplicação dos dejetos líquidos de suínos no estágio de 4 a 12 folhas do milho vem aumentando junto aos suinocultores de Ontário no Canadá, especialmente naquelas regiões onde a precipitação excede a evapotranspiração.

Apesar dessas diferentes alternativas, ainda há relativamente poucos estudos de pesquisa no Brasil sobre a eficácia das mesmas na redução das emissões gasosas de N e na lixiviação de  $\text{NO}_3^-$  após o uso agrícola de dejetos de suínos (Damasceno, 2010). Além desses aspectos, é preciso investigar também como essas estratégias afetam o fornecimento de N e a produtividade das culturas. Esse tema ganha em importância na região Centro-Sul do Brasil não apenas pelo fato de concentrar o maior rebanho nacional de suínos, mas também pela predominância de situações em que os dejetos são aplicados no campo em sistema plantio direto. Essa condição, em que os dejetos permanecem na superfície do solo, sobre resíduos culturais, pode favorecer as perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$ , além aumentar a disponibilidade de N e de carbono (C) à população microbiana heterotrófica, o que pode reduzir a quantidade de  $\text{O}_2$  disponível e, com isso, favorecer as perdas de N por desnitrificação. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito do uso de inibidor de nitrificação e da aplicação parcelada de dejetos de suínos como estratégias para melhorar o aproveitamento do N dos dejetos pelas culturas do milho e do trigo, sob condições de plantio direto.

#### **2.4. Material e Métodos**

O experimento foi conduzido no período de maio de 2010 a novembro de 2011 na área experimental do departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria (29°43'S, 53°43'O e 105 m de altitude), no município de Santa Maria, RS. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa2, de acordo com Koppen). O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico (Santos et al., 2006). Antes da instalação do experimento a área estava em pousio, cuja vegetação espontânea era constituída de poáceas. Em maio de 2010, seis meses antes da implantação dos tratamentos, a área recebeu  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de calcário dolomítico, o qual foi incorporado ao solo através de aração e gradagem. Em junho foi semeada aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) na área, cuja incorporação das sementes no solo foi feita através de gradagem leve. Em outubro de 2010, no estágio de florescimento pleno da aveia, a mesma foi manejada com o uso de rolo-faca. Antes de aplicar os tratamentos e semear o milho diretamente sobre os resíduos culturais da aveia, foi realizada

coleta de solo na camada 0-0,1 m, o qual apresentou as seguintes características: teor de matéria orgânica de 2,7 %,  $7 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $45 \text{ mg dm}^{-3}$  de K,  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  de 5,2, densidade de  $1,39 \text{ g dm}^{-3}$ ,  $398 \text{ g kg}^{-1}$  de areia,  $379 \text{ g kg}^{-1}$  de silte e  $223 \text{ g kg}^{-1}$  de argila. As precipitações ocorridas durante os cultivos do milho e do trigo, as precipitações médias dos últimos 30 anos e a temperatura média do ar para o período são mostradas na figura 1.

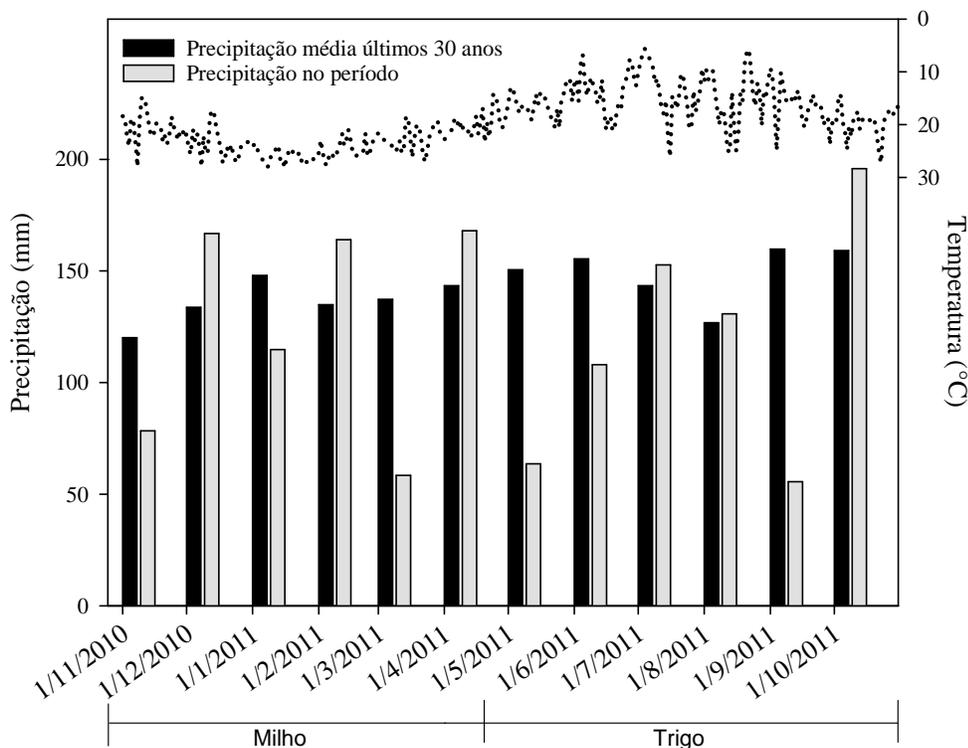


Figura 1. Precipitações ocorridas, precipitações médias dos últimos 30 anos para o período e temperatura média do ar durante os cultivos do milho e do trigo.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos, aplicados em parcelas de  $25 \text{ m}^2$  (5 m x 5 m), consistiram da aplicação de dejetos líquidos de suínos (Dls) em dose única (Du) e parcelada (Dp), com e sem o uso de inibidor de nitrificação (In). Os tratamentos ficaram assim constituídos: T1- Dls dose única (DlsDu); T2- Dls dose única + In (DlsDu+In); T3- Dls dose parcelada (DlsDp); T4- Dls dose parcelada + In (DlsDp +In). Além destes foram avaliados um tratamento (T5) com adubação mineral (NPK) e outro tratamento (T6) testemunha (T), sem adição de fertilizante ou inibidor de nitrificação.

Os dejetos de suínos, provenientes de animais em fase de terminação, foram coletados em esterqueira anaeróbica e analisados conforme Tedesco et al. (1995). As principais

características e as quantidades adicionadas de matéria seca (MS), C e N com os dejetos são mostradas na tabela 1. A dose de dejetos, tanto na aplicação única quanto na aplicação parcelada, foi estabelecida com base na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) - RS/SC (2004), a qual considera que 80% do N total presente nos Dls estará disponível à cultura que sucede a aplicação dos dejetos. O inibidor de nitrificação utilizado foi a dicianodiamida (DCD), presente no produto Agrotain Plus®, na concentração de 81 %. O Agrotain Plus®, na forma de pó e na dose de 7,0 kg ha<sup>-1</sup> (5,7 kg ha<sup>-1</sup> de DCD), foi misturado aos dejetos no momento da sua aplicação no solo das parcelas.

Tabela 1. Composição dos dejetos de suínos e quantidades aplicadas de carbono (C), matéria seca (MS) e nitrogênio (N) nas doses utilizadas em aplicação única e parcelada no milho e no trigo.

Forma de aplicação dos dejetos	Dose	Composição dos dejetos				Quantidade adicionada				C/N
		MS	C	N total	N amo	MS	C	N total	N amo	
	m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	..... g kg <sup>-1</sup> .....				..... kg ha <sup>-1</sup> .....				
Milho										
Dls Du <sup>1</sup>	60	2,3	8,5	2,8	2,0	1.380	510	169	120	3,0
Dls Dp	20	2,3	8,5	2,8	2,0	460	170	56	40	3,0
1 <sup>o</sup> aplicação										
2 <sup>o</sup> aplicação	42	1,3	3,7	2,6	2,4	563	155	108	99	1,4
Trigo										
Dls Du	50	1,3	3,5	2,5	2,1	650	175	127	102	1,4
Dls Dp	16	1,3	3,5	2,5	2,1	208	56	41	33	1,4
1 <sup>o</sup> aplicação										
2 <sup>o</sup> aplicação	26	2,9	9,0	4,0	2,7	745	234	104	71	2,3

<sup>1</sup> Dls: Dejetos líquidos de suínos; Du: Dose única; Dp: Dose parcelada; N amo: N amoniacal

Em 12/11/2010 foi efetuada a distribuição manual dos dejetos sobre os resíduos culturais da aveia. A quantidade de Dls aplicada em pré-semeadura foi de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (169 kg N ha<sup>-1</sup>) nos tratamentos com dose única e de 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (56 kg N ha<sup>-1</sup>) nos tratamentos com aplicação parcelada. O restante (2/3) da dose parcelada (40 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> = 108 kg N ha<sup>-1</sup>) foi aplicado em cobertura, 23 dias após a semeadura do milho, quando este apresentava cinco folhas verdadeiras. A semeadura do milho (Pioneer 30K 75Y) foi realizada em 23/11/2010, onze dias após a aplicação dos Dls, com semeadora para plantio direto. O espaçamento entre linhas foi de 0,80 m e a população final de plantas foi de aproximadamente 77 mil plantas ha<sup>-1</sup>. No tratamento NPK foram aplicados 40 kg N ha<sup>-1</sup>, 115 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no momento da semeadura. O restante do N, na forma de uréia, foi aplicado em cobertura, no

mesmo momento da aplicação da dose parcelada dos dejetos. A cultura do milho foi irrigada por aspersão em situações de déficit hídrico e a colheita ocorreu em 27 de abril de 2011.

Em 01/06/2011, antecedendo a semeadura do trigo, foram reaplicados, nas mesmas parcelas, os tratamentos aplicados anteriormente na cultura do milho. Os dejetos foram distribuídos manualmente sobre os resíduos culturais do milho, sendo que nos tratamentos em dose única a quantidade foi de  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $127 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) enquanto na aplicação parcelada a dose foi de  $16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $41 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) em pré-semeadura e de  $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  ( $104 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) em cobertura quando o trigo se encontrava no segundo perfilho, aos 49 dias após a semeadura. O trigo, cultivar Campo Real, foi semeado com semeadora para plantio direto, dois dias após a aplicação dos dejetos (03/06/2011), em linhas espaçadas em 0,17 m. Na semeadura foram aplicados  $35 \text{ kg N ha}^{-1}$ ,  $65 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$  e  $50 \text{ kg K}_2\text{O ha}^{-1}$  no tratamento NPK. A aplicação do N em cobertura, na forma de uréia ( $77 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) ocorreu juntamente com a aplicação da dose de dejetos em cobertura. A colheita do trigo ocorreu em 01/11/2011.

O acúmulo de N pelo milho foi avaliado na maturação fisiológica da cultura. Para tal, foram coletadas quatro plantas na área útil de cada parcela, analisando-se separadamente a palha e os grãos. No trigo, o acúmulo de N foi avaliado no perfilhamento, no florescimento pleno (antese) e na maturação fisiológica. Em cada época foram colhidos dois segmentos de linha de 0,5 m linear, estabelecidos aleatoriamente dentro da área útil de cada parcela. A produção de MS das culturas foi obtida pela secagem das plantas em estufa a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  até massa constante. Os teores de N total no tecido vegetal e nos grãos foram determinados conforme Tedesco et al. (1995). A produtividade de grãos de milho foi determinada em área de  $12,8 \text{ m}^2$ , colhendo-se as plantas de quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade. Para o trigo foram colhidas 10 linhas da área útil com 3 m de comprimento, totalizando  $5,1 \text{ m}^2$  por parcela. A produção final de grãos das duas culturas foi corrigida para 13 % de umidade.

A estimativa da recuperação do N pelo milho e trigo nos tratamentos com dejetos de suínos e no tratamento com uréia foi feita a partir do acúmulo de N determinado na maturação fisiológica das culturas. Para isso, as quantidades de N acumuladas nesses tratamentos foram subtraídas da quantidade de N acumulada no tratamento sem a aplicação de fertilizantes (testemunha). Esse método considera que a mineralização do N da matéria orgânica do solo não é afetada pelo N aplicado com os dejetos ou com a uréia (efeito “priming”). Por isso, o valor resultante dessa estimativa é, normalmente, denominado de recuperação “aparente” do N aplicado. A fórmula de cálculo utilizada foi aquela proposta por Mitchell & Teel (1977):

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

sendo, RaN é a recuperação aparente, em %, do N aplicado com dejetos ou uréia; NAPf é a quantidade de N acumulado pela planta nos tratamentos com aplicação de fertilizantes (dejetos ou uréia); NAPsf é a quantidade de N acumulado pela planta no tratamento sem a aplicação de fertilizantes e Naf é a quantidade de N aplicada com os dejetos ou uréia.

Os resultados relativos à produção de MS, ao acúmulo de N na planta, à produtividade de grãos e à recuperação aparente do N aplicado foram submetidos à análise de variância e as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de tukey ao nível de 5 %.

## **2.5. Resultados e Discussão**

### **2.5.1. Acúmulo de N e produtividade do milho**

A menor produtividade de grãos de milho e o menor acúmulo de N nos grãos ocorreram no tratamento testemunha e no tratamento em que os dejetos foram aplicados ao solo em dose única (DlsDu), os quais não diferiram entre si (Tabela 2). Apesar da produtividade de grãos do tratamento testemunha ter sido inferior ao tratamento com aplicação de fertilizante mineral (NPK) e aos tratamentos com aplicação de dejetos em dose única e com inibidor de nitrificação (Dls + In) e em dose parcelada, com (DlsDp + In) e sem inibidor de nitrificação (DlsDp), essa diferença foi de apenas 16,9 %, em média. O acúmulo de N nos grãos de milho apresentou o mesmo comportamento observado para a produtividade de grãos. Quanto à produção e o cúmulo de N na palha do milho na maturação da cultura, os tratamentos apresentaram um comportamento semelhante ao observado com a produtividade (Tabela 2).

Tabela 2. Produtividade e acúmulo de N pelo milho em cada tratamento.

Tratamentos <sup>1</sup>	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )			Acúmulo de N (kg ha <sup>-1</sup> )		
	Palha	Grãos	Palha+Grãos	Palha	Grãos	Palha+Grãos
Testemunha	9,4 b	8,1 b	17,5 b	49,8 b	106,4 b	156,2 c
NPK	11,9 a	9,7 a	21,6 a	72,9 a	146,2 a	219,1 a
DlsDu	10,5 ab	9,0 ab	19,5 ab	52,1 b	126,0 ab	178,1 cb
DlsDu+In	12,5 a	9,6 a	22,1 a	68,1 ab	141,8 a	209,9 ab
DlsDp	11,0 ab	9,7 a	20,7 a	51,4 b	138,0 a	189,4 ab
DlsDP+In	11,8 a	10,0 a	21,8 a	60,9 ab	142,1 a	203,0 ab
CV(%)	9,1	5,4	5,7	13,8	7,9	7,5

<sup>1</sup> Dls: Dejetos líquidos de suínos; In: Inibidor de nitrificação; Du: Dose única; Dp: Dose parcelada. As médias seguidas das mesmas letras não diferenciam entre si pelo teste de Tukey 5 %.

A resposta relativamente pequena do milho aos tratamentos, quanto à produtividade e acúmulo de N deve estar relacionada ao histórico da área. Após permanecer em pousio por cerca de cinco anos, a área recebeu calagem e foi submetida à aração e gradagem para incorporação do calcário. Tanto a calagem como as operações de preparo do solo devem ter favorecido a mineralização dos nutrientes da matéria orgânica do solo (MOS) pela população microbiana heterotrófica, com destaque para o nitrogênio. A expectativa era de que, após a incorporação do calcário ao solo, a implantação da aveia preta em toda a área experimental, antecedendo em 6 meses a aplicação dos tratamentos no milho, reduzisse o potencial do solo em fornecer N para essa cultura. Isso era esperado em função da assimilação pela aveia do N mineralizado da MOS e também da provável imobilização do N do solo durante a decomposição dos resíduos culturais da aveia pela população microbiana. Todavia, os resultados indicam que ambas as situações não ocorreram na intensidade imaginada, já que a produtividade de milho do tratamento testemunha, sem a aplicação de fertilizantes, foi superior a 8 Mg ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). Além disso, a ocorrência normal de chuvas desde a semeadura da aveia em toda a área até a aplicação dos tratamentos no milho deve ter reduzido a lixiviação de nitrato, mantendo esse ânion na camada de absorção ativa de nutrientes pelo sistema radicular do milho, semeado em sucessão à aveia. A combinação desses fatores deve ter contribuído para a produtividade elevada de milho, mesmo sem o uso de fertilizante. A falta de resposta à aplicação de dejetos de suínos também foi constatada no trabalho de Chantigny et al. (2007) numa pastagem cultivada de *Phleum pratense* L. de um solo siltoso do Canadá, o que foi atribuído pelos autores às condições ambientais favoráveis à mineralização do N nativo do solo.

O fato de o milho ter atingido, no tratamento testemunha, produtividade de grãos ( $8,13 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) relativamente próxima (81 %) ao potencial da cultura para as condições do experimento ( $10,0 \text{ Mg ha}^{-1}$  no tratamento DIsDp + IN) indica que a condição experimental, com disponibilidade elevada de nutrientes no solo durante o ciclo da cultura, limitou a expectativa de resposta aos tratamentos avaliados. Comparando entre si os cinco tratamentos com uso de fertilizante (NPK ou dejetos) observa-se que a diferença entre a maior produtividade de grãos, obtida no tratamento DIsDp + IN e a menor, do tratamento DIsDu, foi de apenas 11 %. Tais resultados indicam que a expectativa de resposta à aplicação parcelada dos dejetos de suínos e ao uso de inibidor de nitrificação como estratégias para melhorar o fornecimento de nutrientes, especialmente de nitrogênio, ao milho existe apenas quando o solo apresentar limitação no potencial de fornecimento desse nutriente à cultura. Essa limitação pode ser condicionada pela baixa mineralização do N do solo ou pelas perdas elevadas de N, através de emissões gasosas e/ou lixiviação. Num dos poucos trabalhos em que a aplicação de dejetos em dose única em pré-semeadura e parcelada (1/2 em pré-semeadura e 1/2 no estágio de 4 a 6 folhas) foram comparadas, Schröder (1999) constatou que, em apenas dois dos cinco experimentos conduzidos, a aplicação parcelada foi superior na produção de matéria seca (MS) de milho para silagem, embora a diferença média tenha sido de apenas  $1,15 \text{ Mg de MS ha}^{-1}$  (10,4 %). Tais situações ocorreram quando as precipitações foram elevadas, favorecendo a perda de N por lixiviação na fase inicial do desenvolvimento do milho, o que conduziu o autor a concluir que, sob as condições normais de solo e clima da Alemanha, a aplicação parcelada de dejetos líquidos de bovinos não foi uma estratégia mais eficiente do que à sua aplicação em dose única no sentido de aumentar o rendimento de MS do milho.

Embora o inibidor de nitrificação não tenha aumentado significativamente o acúmulo de N e a produtividade de milho observa-se, na tabela 2 que, em ambas as modalidades de aplicação dos dejetos (dose única x dose parcelada), houve uma tendência de melhoria na eficiência dos dejetos nestes dois atributos avaliados no milho. Considerando a produção total da cultura (palha + grãos), o aumento proporcionado pelo inibidor de nitrificação foi de 13,3 % para a aplicação dos dejetos em dose única e de 5,3 % para a dose parcelada. Quanto ao acúmulo de N pelas plantas, esses aumentos foram de 17,9 e 7,2 %, respectivamente. Essa tendência indica que, na aplicação dos dejetos em dose única, as perdas de N devem ter sido superiores em relação a sua aplicação parcelada. Essa hipótese é reforçada pela comparação das duas modalidades de uso dos dejetos entre si e sem o uso do inibidor, onde se observa que na aplicação parcelada o acúmulo de N e a produção total da cultura superaram a aplicação única em 6,3 % e 6,1 %, respectivamente (Tabela 2). Na maioria das situações, o uso de DCD

tem ocorrido em ambientes ricos em urina de vacas em lactação (Moir et al., 2007; Di & Cameron, 2008), o que dificulta a comparação dos resultados aos do presente trabalho. Quando a DCD foi aplicada como inibidor da nitrificação do N amoniacal de dejetos líquidos de suínos (Vallejo et al., 2005) e de bovinos (Tao et al., 2008) o seu efeito foi avaliado apenas sobre as perdas de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$  e  $\text{NH}_3$ . No trabalho de Moir et al. (2007), a aplicação de DCD ( $10 \text{ kg ha}^{-1}$  em maio e  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  em agosto) em uma pastagem com adição de doses elevadas de urina de vacas resultou em aumento médio de 21 % na produção da pastagem.

### **2.5.2. Acúmulo de N e produtividade do trigo**

Após dois cultivos da área experimental antecedendo o trigo, sendo um com aveia no inverno e outro com milho no verão, o potencial de fornecimento de nutrientes, especialmente de N, ao trigo pelo solo do tratamento testemunha foi reduzido. Isso ficou evidenciado nos resultados relativos à produção de MS e de grãos do trigo e também no acúmulo de N pela cultura. Observa-se que no perfilhamento e, principalmente na antese e na colheita, todos os atributos avaliados nas plantas apresentaram valores significativamente menores na testemunha do que nos demais tratamentos, que não diferiram entre si (Figura 2). Na antese, por exemplo, a produção de MS do trigo aumentou de  $4,41 \text{ Mg ha}^{-1}$  na testemunha para  $8,12 \text{ Mg ha}^{-1}$ , na média dos outros cinco tratamentos. Nesse mesmo estágio de desenvolvimento do trigo, o acúmulo de N nas plantas aumentou de 46,1 para  $103,6 \text{ kg ha}^{-1}$ . Quanto à produtividade e acúmulo de N nos grãos de trigo o valor médio desses dois atributos nos tratamentos com fertilizantes (mineral ou orgânico) superou aqueles do tratamento testemunha em 1,95 e 2,22 vezes, respectivamente. Tais resultados mostram que, contrariamente ao milho, o trigo apresentou elevado potencial de resposta à aplicação dos fertilizantes e que a recomendação de dejetos de suínos preconizada pela Comissão de Química e Fertilidade do Solo - RS/SC (2004) está adequada a essa cultura, já que o desempenho desta nos tratamentos com dejetos foi similar ao observado no tratamento com adubação mineral (NPK).

Quanto à aplicação parcelada dos dejetos de suínos no trigo, observa-se na figura 2 que ela não resultou em aumento no acúmulo de N e na produtividade do trigo, em relação à aplicação dos dejetos em dose única. Comparando o uso do inibidor de nitrificação em cada modalidade de uso dos dejetos (aplicação em dose única ou parcelada), observa-se que ele também não teve qualquer efeito significativo no trigo. A expectativa era de que a aplicação parcelada dos dejetos, com 1/3 da dose em pré-semeadura e 2/3 em cobertura, resultasse no

fornecimento de nutrientes, principalmente de N, em maior sincronia com a demanda de N do trigo do que a aplicação dos dejetos em dose única, em pré-semeadura da cultura. Do mesmo modo, esperava-se que a manutenção do N mineral dos dejetos na forma de  $\text{NH}_4^+$ , através do efeito inibitório da DCD sobre a nitrificação, reduzisse as perdas de N na forma de nitrato e resultasse em maior acúmulo de N e produtividade de trigo.

Duas razões principais podem explicar o fato de a aplicação parcelada dos dejetos e o uso de inibidor de nitrificação não terem apresentado efeito positivo na melhoria do fornecimento de nutrientes ao trigo, apesar do elevado potencial de resposta da cultura à aplicação dos dejetos e da adubação mineral. Mesmo com a possibilidade de perdas maiores de N nos tratamentos com dose única de dejetos e sem inibidor de nitrificação, pode ser que a quantidade de nutrientes remanescentes foi suficiente para que a cultura alcançasse o seu potencial produtivo para as condições do experimento. Todavia, a causa mais provável para a falta de resposta do trigo à aplicação parcelada dos dejetos e ao uso do inibidor de nitrificação deve estar relacionada às condições climáticas que ocorreram durante o desenvolvimento da cultura, sobretudo no primeiro mês após a sua implantação, que ocorreu em junho. Observa-se na figura 1 que no mês de junho o volume total das precipitações ocorridas foi inferior ao verificado nos últimos 30 anos em 47 mm (30 %). Considerando que nas primeiras três semanas após a aplicação dos dejetos de suínos no solo a demanda de N pelo trigo ainda é muito baixa e que nesse período todo o N amoniacal contido nos mesmos já foi oxidado até nitrato, conforme demonstraram Aita et al. (2007), o baixo volume de chuvas deve ter mantido na camada de maior concentração de raízes de trigo o nitrato produzido. Nos meses de julho e agosto o volume de chuvas também foi próximo das médias históricas. Provavelmente, sob condições de precipitações mais elevadas do que aquelas que ocorreram, parte do nitrato produzido pelas bactérias nitrificadoras poderia ser lixiviado no perfil do solo, para além da zona de absorção do sistema radicular do trigo, como ocorreu no trabalho de Aita et al. (2006). Nessa condição, a aplicação de todo o N amoniacal dos dejetos na semeadura (dose única) deveria resultar em menor quantidade de N disponível e, por isso, em menor desenvolvimento do trigo, relativamente a sua aplicação em dose parcelada. Esse mesmo raciocínio é válido para o uso do inibidor de nitrificação, juntamente com os dejetos, no momento da aplicação destes no campo.

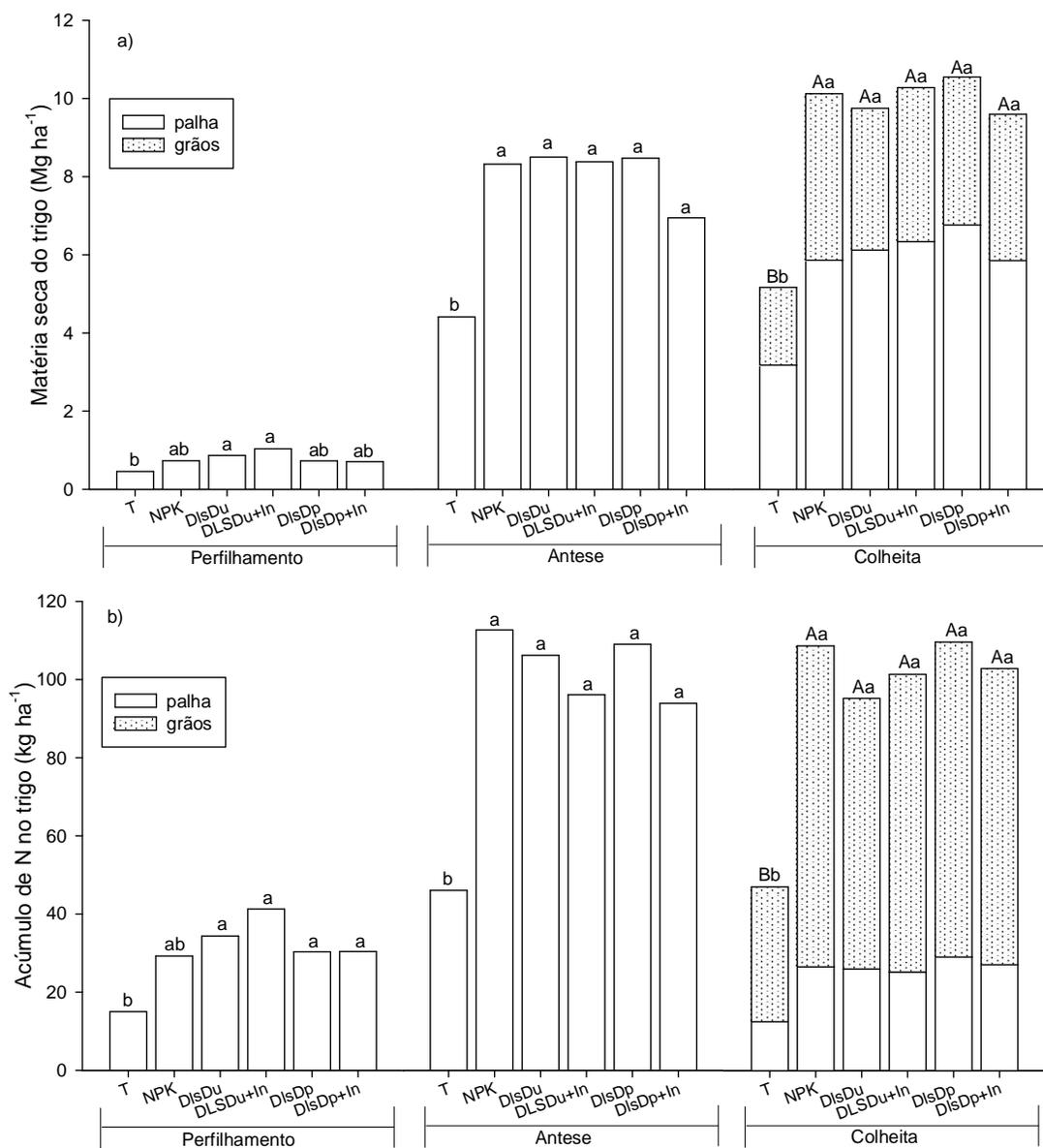


Figura 2. Produção de matéria seca de palha e grãos de trigo (a) e acúmulo de N (b) em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura em cada tratamento. Na colheita, as letras minúsculas comparam a palha e as maiúsculas os grãos.

### 2.5.3. Recuperação pelas culturas do milho e do trigo do N aplicado com os dejetos e com a uréia

Comparando as duas culturas, observa-se que a recuperação do N aplicado, sobretudo do N dos dejetos, foi maior no trigo do que no milho (Tabela 3). A recuperação do N amoniacal ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ) aplicado aumentou de 30,2 % no milho para 53,6 % no trigo.

Considerando o N total aplicado com os dejetos, a sua recuperação foi de 23,4 % no milho e de 40,6 % no trigo. Essa diferença entre as duas culturas na recuperação do N aplicado pode estar ligada às características intrínsecas a cada cultura, no que se refere à sua habilidade na assimilação do N disponível no solo. Além disso, as condições climáticas ocorridas durante o cultivo do trigo podem ter reduzido as perdas do N aplicado ao solo com os dejetos, em relação ao milho.

Tabela 3. Recuperação do N aplicado com os dejetos de suínos pelas culturas do milho e do trigo e teores de proteínas nos grãos dessas duas culturas.

Cultura	Tratamentos <sup>1</sup>	N aplicado (kg ha <sup>-1</sup> )		N recuperado (%)		Proteína grãos (%)
		N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N total	
Milho	Testemunha	-	-	-	-	8,7 b
	NPK	-	134	-	47,0 a	10,0 a
	DlsDu	120	169	18,2 b	12,9 c	9,3 ab
	DlsDu+In	120	169	44,8 a	31,8 ab	9,8 a
	DlsDp	139	164	24,0 ab	20,3 bc	9,5 ab
	DlsDP+In	139	164	33,7 ab	28,6 bc	9,2 ab
	CV (%)	-	-	39,3	27,4	4,2
Trigo	Testemunha	-	-	-	-	12,4 b
	NPK	-	112	-	55,1	13,6 a
	DlsDu	102	127	47,3	38,0	12,8 ab
	DlsDu+In	102	127	53,3	42,8	13,2 ab
	DlsDp	104	145	60,3	43,2	13,1 ab
	DlsDP+In	104	145	53,7	38,5	13,3 ab
	CV (%)	-	-	27,9	26,2	3,3

<sup>1</sup> Dls: Dejetos líquidos de suínos; In: Inibidor de nitrificação; Du: Dose única; Dp: Dose parcelada. As médias seguidas das mesmas letras não diferenciam entre si pelo teste de Tukey 5 %.

Uma dificuldade encontrada nos trabalhos com dejetos de animais, principalmente com os dejetos de suínos, refere-se à heterogeneidade temporal na composição dos mesmos, como resultado de variações na idade dos animais, no tipo de alimentação e no manejo dado aos próprios dejetos. Observa-se na tabela 3 que as quantidades de N aplicadas no milho, em dose única e parcelada, são próximas, embora a quantidade de N amoniacal tenha sido 15,8 % maior na dose parcelada. Isso por que os dejetos usados na aplicação em cobertura possuíam maior proporção de N amoniacal do que os dejetos que foram aplicados em pré-semeadura do milho (Tabela 3). Por outro lado, no trigo, as quantidades de N amoniacal aplicadas foram próximas e aquelas de N total diferiram, com a aplicação parcelada tendo adicionado ao solo

14,2 % mais N total do que a dose única. Acredita-se que tais diferenças, por serem relativamente pequenas, não tenham prejudicado a comparação quanto à resposta do milho e do trigo diante das duas modalidades de aplicação dos dejetos. Elas não afetaram em nada a avaliação da eficiência do inibidor, já que ele foi adicionado sobre as mesmas quantidades aplicadas de N com os dejetos, tanto em dose única quanto parcelada.

No milho, a menor quantidade de N recuperado pela parte aérea (palha + grãos) da cultura, com índices de recuperação de apenas 18,2 % e 12,2 % do N amoniacal e do N total aplicados, respectivamente, ocorreu no tratamento em que os dejetos foram aplicados em dose única, em pré-semeadura (DIsDu). Já a maior recuperação de N, equivalente a 44,8 % do N amoniacal e 31,8 % do N total aplicados, também ocorreu nessa modalidade de uso dos dejetos, porém quando foi adicionado o inibidor de nitrificação aos mesmos (DIsDu + In), no momento da sua aplicação no campo. Essa baixa recuperação do N aplicado com os dejetos no tratamento DIsDu pode ser explicada em função da possibilidade de terem ocorrido perdas de N na forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) nas primeiras semanas após a aplicação dos dejetos, quando a demanda de N pelo milho ainda era pequena. A adição do Agrotain Plus, contendo 81% do inibidor de nitrificação DCD, deve ter preservado o N dos dejetos por mais tempo na forma de  $\text{N-NH}_4^+$ , aumentando a disponibilidade de N ao milho. Isso não foi observado no trigo, o que pode indicar a existência de diferenças entre as duas culturas quanto à assimilação e recuperação do N mineral do solo.

No milho, a quantidade de N-uréia aplicada ( $134 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ) foi próxima daquela aplicada com os dejetos, com o parcelamento da dose ( $139 \text{ kg de N ha}^{-1}$ ). Todavia, na média dos dois tratamentos com o parcelamento da dose, o milho recuperou 47,0 % do N que foi aplicado com a uréia e apenas 28,9 % do N aplicado com os dejetos (Tabela 3). Considerando que tanto a uréia quando os dejetos foram aplicados do modo parcelado e ao mesmo momento no solo, com 1/3 na semeadura e 2/3 em cobertura, essa diferença de aproveitamento do N pelo milho indica que o N de ambas as fontes sofreu processos diferenciados no solo. É provável, que adição ao solo de água e de C solúvel pelos dejetos tenha favorecido a ação de bactérias desnitrificadoras, reduzindo o N disponível ao milho, em relação à uréia. Novamente, isso não ocorreu na cultura do trigo, onde a cultura recuperou 55,1 % do N aplicado com a uréia e 57,0 % do N dos dejetos, na média dos dois tratamentos com parcelamento da dose.

Os índices de recuperação do N da uréia e dos dejetos pelo milho e trigo são bastante variáveis na literatura em função, principalmente, das quantidades de N aplicadas e das condições de clima durante o crescimento das culturas. No trabalho de Meade et al. (2011),

por exemplo, o trigo recuperou, em média, 33 % do N aplicado com dejetos líquidos de suínos e 67% do N aplicado com nitrato de amônio. A maior recuperação de N com adubação mineral do que com dejetos de suínos também foi observada por Seiling (2004), sendo que Sørensen & Amato (2002) atribuíram essa menor recuperação do N dos dejetos à imobilização do  $N-NH_4^+$  durante a decomposição dos mesmos logo após a sua adição ao solo.

A aplicação parcelada dos dejetos e o uso de DCD não afetaram significativamente o teor de proteínas dos grãos do milho e do trigo (Tabela 3). No milho, o teor de proteína dos grãos apresentou um comportamento similar ao observado com o acúmulo de N nos grãos, com os menores valores no tratamento testemunha. Nesse tratamento o teor de proteína dos grãos foi menor do que a média dos outros cinco tratamentos em 0,86 %. No trigo, o tratamento testemunha também foi aquele que apresentou o menor teor de proteína nos grãos, cuja diferença, em relação à média dos outros cinco tratamentos, foi de 0,80 %. Considerando que o acúmulo médio de N nos grãos de milho dos tratamentos com aplicação de N-uréia e dejetos superou o tratamento testemunha em 30 % (Tabela 2) enquanto no trigo essa diferença foi de 123 % (Figura 2b), era de se esperar maiores diferenças no teor de proteínas dos grãos de trigo dos tratamentos com aplicação de N via uréia e dejetos em relação à testemunha sem aplicação de N.

Os resultados deste trabalho mostraram que, sob condições normais de precipitação pluviométrica, tanto o parcelamento da dose de dejetos líquidos de suínos quanto o uso de inibidor de nitrificação, não afetam o acúmulo de N e a produtividade das culturas do milho e do trigo em plantio direto. Todavia, além destes atributos ligados às culturas é preciso incluir em trabalhos futuros a avaliação dos efeitos destas duas estratégias sobre a qualidade ambiental, com destaque para as emissões para a atmosfera de amônia e, principalmente, de óxido nitroso. Também é interessante avaliá-las sob condições de solos com textura arenosa, onde as perdas de N por lixiviação de nitrato podem ser significativas e em áreas com maior tempo de adoção do sistema de plantio direto.

## 2.6. Conclusões

- a) O uso de dejetos líquidos de suínos em plantio direto de milho e trigo aumentou significativamente o acúmulo de N e a produtividade das culturas, com resultados similares aos obtidos pelo uso da adubação mineral recomendada.
- b) A aplicação parcelada dos dejetos de suínos e o uso de DCD para inibir a nitrificação do N amoniacal aplicado não melhoraram o potencial dos dejetos quanto ao fornecimento de N e aumento na produtividade do milho e do trigo.

## 2.7. Literatura Citada

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 42:95-102, 2007.
- AITA, C.; PORT, O. & GIACOMINI, S.J. Dinâmica do nitrogênio no solo e produção de fitomassa por plantas de cobertura no outono/inverno com o uso de dejetos de suínos. *Rev. Bras. Ci. Solo*, 30:901-910, 2006.
- ARCARA, P.G.; GAMBA, C.; BIDINI, D. & MARCHETTI, R. The effect of urea and pig slurry fertilization on denitrification, direct nitrous oxide emission, volatile fatty acids, water-soluble carbon and anthrone-reactive carbon in maize-cropped soil from the Po plain (Modena, Italy). *Biol. Fertil. Soils*, 29: 270-276, 1999.
- BERENQUER, P.; SANTIVERI, F.; BOIXADERA, J. & LLOVERAS, J. Fertilization of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *Eur. J. Agron.*, 28:635-645, 2008.
- CHANTIGNY, M.H.; ANGERS, D.A.; ROCHETTE, P.; BÉLANGER G. & MASSÉ, D. Gaseous nitrogen emissions and forage nitrogen uptake on soils fertilized with raw and treated swine manure. *J. Environ. Qual.*, 36:1864-1872, 2007.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC – CQFS – RS/SC. Manual de Adubação e de Calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS-Comissão de Química e Fertilidade do Solo, 2004. 394p.
- DAMASCENO, F. Injeção de dejetos líquidos suínos no solo e inibidor de nitrificação como estratégias para reduzir as emissões de amônia e óxido nitroso. Santa Maria: UFSM, 2010. 122p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, 2010.
- DAUDÉN, A. & QUÍLEZ, D. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. *Eur. J. Agron.*, 21:7-19, 2004.
- DEEN, W.; ROY, A. & STEWART, G.P. A comparison of side-dressed liquid hog manure to urea ammonium nitrate in corn. *Crop Manag. J.* Disponível em: <<http://www.plantmanagementnetwork.org/cm/element/sum2.aspx?id=7077>>. Acesso em: 15 de janeiro de 2011.
- DI, H.J. & CAMERON, K.C. Sources of nitrous oxide from <sup>15</sup>N-labelled animal urine and urea fertilizer with and without a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD). *Aust. J. Soil Res.*, 46:76-82, 2008.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Efetivo de suínos. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em: 10 de janeiro de 2011.

- KONZEN, E.A.; PERREIRA FILHO, I.A.; BAHIA FILHO, A.F.C. & PEREIRA, F.A. Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 31 p. (Circular Técnica, 25)
- MEADE, G.; PIERCE, K.; O'DOHERTY, J.V.; MUELLER, C.; LANIGAN, G. & MCCABE, T. Ammonia and nitrous oxide emissions following land application of high and low nitrogen pig manures to winter wheat at three growth stages. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 140:208-217, 2011.
- MITCHELL, W.H. & TEEL, M.R. Winter-annual cover crops for no-tillage corn production. *Agron. J.* 69:569-573, 1977.
- MOIR, J.L.; CAMERON, K.C. & DI, H.J. Effects of the nitrification inhibitor dicyandiamide on soil mineral N, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. *Soil Use Manag.*, 23:111-120, 2007.
- MOOLEKI, S.P.; SCHOENAU, J.J.; HULTGREEN, G.; WEN, G. & CHARLES, J.L. Effect of rate, frequency and method of liquid swine manure application on soil nitrogen availability, crop performance and N use efficiency in east-central Saskatchewan. *Can. J. Soil. Sci.*, 82:457-467, 2002.
- SCHRODER, J.J. Effect of split applications of cattle slurry and mineral fertilizer-N on the yield of silage maize in a slurry-based cropping system. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 53:209-218, 1999.
- SEILING, K. Growth stage-specific application of slurry and mineral N to oilseed rape, wheat and barley. *J. Agric. Sci.*, 142:495-502, 2004.
- SØRENSEN, P. & AMATO, M. Remineralization and residual effects of N after application of pig slurry to soil. *Eur. J. Agron.*, 16:81-95, 2002.
- SUBBARAO, G.V.; ITO, O.; SAHRAWAT, K. L.; BERRY, W.L.; NAKAHARA, K.; ISHIKAWA, T.; WATANABE, T.; SUENAGA, K.; RONDON, M. & RAO, I.M. Scope and strategies for regulation of nitrification in agricultural systems – Challenges and opportunities. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 25:303-335, 2006.
- SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; HOFF, J.D. & MAYROSE, V.B. Effects of injection and surface applications of liquid swine manure on corn yield and soil composition. *J. Environ. Qual.*, 11:468-472, 1982.
- 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. *Aust. J. Exp. Agr.*, 48:169-174, 2008.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.

- VALLEJO, A.; GARCÍA-TORRES, L.; DÍEZ, J.A. & LÓPEZ-FERNÁNDEZ, A.S. Comparison of N losses ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. *Plant Soil*, 272:313-325, 2005.
- 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. *Agr. Ecosyst. Environ.*, 137:39-46, 2010.
- WULF, S.; MAETING, M. & CLEMENS, J. Application technique and slurry co-fermentation effects on ammonia, nitrous oxide, and methane emissions after spreading: Greenhouse gas emissions. *J. Environ. Qual.*, 31:1795-1801, 2002.
- YAGÜE, M.R. & QUÍLEZ, D. Direct and residual response of wheat to swine slurry application method. *Nutr. Cycl. Agroecosys.*, 86:161-174, 2010.
- 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 Biol. Biochem.*, 41:1270-1280, 2009.
- ZEBARTH, B.J.; PAUL, J.W.; SCMIDT, O. & MCDOUGALL, R. Influence of the time and rate of liquid-manure application on yield and nitrogen utilization of silage corn in south coastal British Columbia. *Can. J. Soil Sci.*, 76:153-164, 1996.

### **3. ARTIGO II – INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS NO MILHO E NO TRIGO VISANDO REDUZIR A EMISSÃO DE ÓXIDO NITROSO DO SOLO**

#### **3.1. Resumo**

A redução do impacto ambiental provocado pelo uso agrícola de dejetos de suínos, especialmente em relação à emissão de óxido nitroso ( $N_2O$ ), é fundamental para a sustentabilidade da suinocultura. O objetivo desse estudo foi avaliar o efeito da forma de aplicação de dejetos líquidos de suínos e de um inibidor de nitrificação sobre as emissões de  $N_2O$  no cultivo do milho e do trigo em plantio direto. O trabalho foi conduzido de novembro de 2010 a novembro de 2011 em um Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico. No cultivo do milho, os tratamentos constaram da aplicação dos dejetos em dose única ( $60\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ) e em dose parcelada ( $20 + 42\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$ ), com e sem a aplicação de  $7\text{ kg ha}^{-1}$  do produto Agrotain Plus, que contém na sua formulação 81 % do inibidor de nitrificação dicianodiamida (DCD). Além destes, as emissões de  $N_2O$  foram avaliadas em dois outros tratamentos, sendo um com adubação mineral e outro sem uso de fertilizantes (testemunha). Os mesmos tratamentos foram reaplicados no cultivo do trigo, nas mesmas parcelas, com  $50\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  no tratamento que recebeu os dejetos em dose única e  $16 + 26\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}$  em dose parcelada. Os fluxos de  $N_2O$  aumentaram com a aplicação dos dejetos, sendo que o parcelamento da dose reduziu em 50 % a emissão de  $N_2O$  no cultivo do trigo, não tendo efeito no cultivo do milho. A maior emissão acumulada de  $N_2O$ , equivalente a  $3,76\text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$  (1,21 % do total de N adicionado) foi observada no milho, no tratamento com a aplicação parcelada dos dejetos. No trigo, a maior emissão, de  $2,9\text{ kg N-N}_2\text{O ha}^{-1}$  (1,69 % do total de N adicionado) ocorreu no tratamento com aplicação dos dejetos em dose única. O uso do inibidor de nitrificação reduziu as emissões de  $N_2O$  em 15,5 % no milho e 45 % no trigo, na média das aplicações única e parcelada dos dejetos. Os resultados desse estudo indicam que a estratégia de aplicar os dejetos de suínos juntamente com o inibidor de nitrificação pode reduzir a emissão de  $N_2O$  para a atmosfera, quando da aplicação dos dejetos.

Palavras chave: dicianodiamida (DCD), dejetos líquidos de suínos, emissão de  $N_2O$ .

## **Nitrous oxide emission from corn and wheat crops in response to split pig slurry application and nitrification inhibitor**

### **3.2. Summary**

Reducing the environmental impact caused by the agricultural use of pig slurry (PS), especially in relation to the emission of nitrous oxide ( $\text{N}_2\text{O}$ ), is fundamental to the sustainability of pig farming. The aim of this study was to evaluate the effect of full and split PS application and nitrification inhibitor (NI) on  $\text{N}_2\text{O}$  emissions from maize and wheat crops under no till system. The work was conducted from November 2010 to November 2011 on a typic Hapludalf. In the corn crop, the treatments were the PS application as full dose ( $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) and as split-dose ( $20 + 42 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), with and without NI application. Agrotain Plus (81% of dicyandiamide-DCD) was used as NI at a rate of  $7 \text{ kg ha}^{-1}$ . In addition to these treatments,  $\text{N}_2\text{O}$  emissions were also evaluated from a control treatment, devoid of fertilizer and NI, and from a treatment with urea-N + PK. The same treatments were used for the cultivation of wheat in the same plots. For the full dose  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  slurry was applied as pre-planting while for split dose  $16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  was applied as pre-planting and the remaining ( $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) was sidedressed at 23 days after sowing.  $\text{N}_2\text{O}$  fluxes increased with application of PS in both corn and wheat crops and the splitting of the dose resulted in  $\text{N}_2\text{O}$  reduction by 50% in wheat crop. The highest accumulated N- $\text{N}_2\text{O}$  emission, equivalent to  $3.76 \text{ kg ha}^{-1}$  (1.21 % of N added), was observed in maize, in the treatment where slurry was applied by splitting the full dose. In wheat crop, maximum  $\text{N}_2\text{O}$  emission, equivalent to  $2.9 \text{ kg ha}^{-1}$  (1.69 % of N added), was observed when slurry was applied as a full dose. The use of nitrification inhibitor reduced  $\text{N}_2\text{O}$  emissions by 15.5 % in maize and 45 % in wheat, when averaged for full and split PS applications. The results of this study indicate that the strategy of applying pig slurry with DCD as a nitrification inhibitor can reduce the emission of  $\text{N}_2\text{O}$  to the atmosphere.

Keywords: dicyandiamide (DCD), pig slurry,  $\text{N}_2\text{O}$  emission.

### 3.3. Introdução

Os dejetos de suínos constituem uma importante fonte de nitrogênio (N) às culturas, sendo o seu uso agrícola aceito como uma prática de manejo rentável, pois reduz os custos com uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Embora os dejetos de suínos possam promover rendimentos satisfatórios das culturas comerciais (Berenguer et al., 2008), eles também podem favorecer as emissões de  $N_2O$  para a atmosfera (Whalen, 2000; Rochette et al., 2004), que é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, além de destruir a camada de ozônio.

Os dejetos de suínos podem estimular as emissões de  $N_2O$  por apresentar, normalmente, mais de 50% do N na forma amoniacal (Sánchez; González, 2005), o qual é rapidamente nitrificado no solo (Aita et al., 2007), além de conter carbono (C) orgânico e teores elevados de água (Rochette et al., 2000). Adições de C no solo estimulam o crescimento de microrganismos decompositores heterotróficos, incluindo as bactérias desnitrificadoras (Sánchez-Martín et al., 2008), cuja atividade enzimática para a desnitrificação é estimulada sob condições de baixa disponibilidade de  $O_2$ . Tais condições podem ser criadas pela própria água dos dejetos como também pela ação dos microrganismos decompositores. Já a presença do N amoniacal dos dejetos no solo pode promover a emissão de  $N_2O$ , tanto durante a sua nitrificação como, posteriormente, pela ação das bactérias desnitrificadoras, que reduzem para formas gasosas de N o  $NO_3^-$  produzido pelas bactérias nitrificadoras.

Atualmente os dejetos líquidos de suínos são aplicados no Sul do Brasil, na sua maioria, em lavouras de milho conduzidas em sistema de plantio direto (SPD), o que pode contribuir ao aumento das emissões de  $N_2O$ . Isso porque, além do C dos dejetos também há na superfície do solo a presença de C dos resíduos culturais das espécies que antecedem ao milho. O trânsito de máquinas e a baixa mobilização do solo no SPD também podem reduzir a disponibilidade de  $O_2$ , o que é essencial ao processo de desnitrificação. Além destes aspectos, a prática mais comum de uso agrícola dos dejetos em SPD é aplicá-los em dose única, sobre os resíduos culturais, antecedendo a semeadura das culturas comerciais. A presença no solo de quantidades elevadas de N amoniacal dos dejetos e a sua rápida nitrificação nas duas ou três semanas após a semeadura do milho (Aita et al., 2007) disponibiliza uma grande quantidade de nitrato no solo, quando a absorção de N pela cultura ainda é muito pequena. Esse conjunto de condições decorrentes do uso de dejetos de suínos, quando aliadas a

condições ambientais favoráveis, pode resultar em emissões significativas de  $N_2O$  para a atmosfera.

A mitigação das emissões de  $N_2O$  e a melhoria na eficiência do uso do N pelas culturas podem ser obtidas pela adoção de algumas práticas agrícolas como o uso de fertilizantes nitrogenados de liberação lenta, o parcelamento da dose do fertilizante nitrogenado e o uso de produtos que retardam a nitrificação (Stark; Richards, 2008). Nos últimos anos, nota-se um aumento no interesse pela pesquisa, principalmente de alguns países Europeus, em avaliar o uso de inibidores de nitrificação, juntamente com dejetos de animais, como uma estratégia para reduzir os impactos ambientais negativos provocados pelas perdas de N e para aumentar a produtividade de culturas (Valejo et al., 2006; Mkhabela et al., 2006; Mejjide et al., 2007).

Um dos produtos mais utilizados para inibir a nitrificação e com resultados variáveis sobre as emissões de  $N_2O$  e a resposta das culturas (Merino et al., 2001; Mkhabela et al., 2006; Zaman et al., 2009) é a Dicianodiamida (DCD), a qual tem sido empregada principalmente em áreas onde há grande concentração de urina de vacas em lactação (Klein et al., 2011; Zaman et al., 2010). Ainda são raros os trabalhos onde a DCD foi aplicada ao solo juntamente com dejetos de suínos. Quando isso ocorreu, o produto foi eficiente em reduzir as emissões de  $N_2O$  (Valejo et al., 2006). A DCD pode reduzir as emissões de  $N_2O$  provenientes da nitrificação, já que o produto atua bloqueando o sítio ativo da enzima amônia monooxigenase, responsável pela oxidação de  $NH_3$  para nitrito na primeira etapa do processo (Zacherl; Amberger, 1990). Ao retardar o aparecimento de nitrato ( $NO_3^-$ ) no solo, a DCD atua também na redução da disponibilidade deste acceptor alternativo de elétrons para as bactérias desnitrificadoras, reduzindo assim a emissão de  $N_2O$  também pela desnitrificação (Senbayram et al., 2011).

A aplicação parcelada de fertilizantes nitrogenados, orgânicos ou minerais, busca sincronizar a disponibilidade de N no solo com a demanda de N pelas culturas, o que poderá reduzir as perdas de N para o ambiente e as emissões de  $N_2O$ . No Brasil, as informações de pesquisa envolvendo tanto a aplicação parcelada dos dejetos de suínos como o uso de inibidores de nitrificação no momento da aplicação dos mesmos no solo ainda são bastante limitadas. É preciso intensificar os trabalhos nessa área, sobretudo no Sul do Brasil. Isso em função da importância da suinocultura e do plantio direto nessa região, cujas condições climáticas predominantes, principalmente na primavera e verão, são potencialmente favoráveis à ocorrência de perdas de  $NO_3^-$  por lixiviação e desnitrificação.

A busca de alternativas que, simultaneamente, melhorem a eficiência dos dejetos de suínos no fornecimento de N às culturas e reduzam os danos ambientais após sua aplicação no campo é fundamental ao desenvolvimento sustentável da suinocultura brasileira. O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do uso de inibidor de nitrificação e da aplicação parcelada dos dejetos de suínos em reduzir as emissões de N<sub>2</sub>O nas culturas do milho e do trigo em plantio direto.

### 3.4. Material e Métodos

#### 3.4.1. Experimento

O estudo foi realizado na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria (29°43'S, 53°43'O aproximadamente 105 m de altitude), no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O clima do local é subtropical úmido (Cfa2 segundo a classificação Koppen) e o solo classificado como Argissolo Vermelho Alumínico úmbrico pelo Sistema Brasileiro de Classificação do Solo. As características do solo na camada 0-0,1 m no início do experimento foram: matéria orgânica 2,7 %, 7 mg dm<sup>-3</sup> de P, 45 mg dm<sup>-3</sup> de K, pH<sub>H2O</sub> 5,2, densidade 1,39 g dm<sup>-3</sup>, 39,8 % areia, 37,9 % silte e 22,3 % argila.

Antes da instalação do experimento a área estava em pousio, cuja vegetação espontânea era constituída de poáceas. Em maio de 2010, seis meses antes de iniciar o experimento, a área recebeu 8 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, o qual foi incorporado ao solo através de aração e gradagem. Em junho de 2010 foi semeada aveia preta (*Avena strigosa* Schieb) na área, cuja incorporação das sementes no solo foi feita através de gradagem leve. Em outubro de 2010, no estágio de florescimento pleno da aveia, a mesma foi manejada com o uso de rolo-faca. O experimento foi estabelecido em novembro de 2010, sobre os resíduos culturais da aveia preta, utilizando o delineamento experimental blocos ao acaso com três repetições em parcelas de 25 m<sup>2</sup> (5 m x 5 m). Os tratamentos consistiram da aplicação de dejetos líquidos de suínos (Dls) em dose única (Du) e parcelada (Dp), com e sem o uso de inibidor de nitrificação (In). Os tratamentos ficaram assim constituídos: T1- Dls dose única (DlsDu); T2- Dls dose única + In (DlsDu+In); T3- Dls dose parcelada (DlsDp); T4- Dls dose parcelada + In (DlsDp +In). Além destes foram avaliados um tratamento (T5) com adubação mineral (NPK) e outro tratamento (T6) testemunha (T), sem adição de fertilizante ou inibidor de nitrificação.

Os dejetos de suínos, provenientes de animais em fase de terminação, foram coletados em esterqueira anaeróbica e analisados conforme Tedesco et al. (1995). As principais

características e as quantidades adicionadas de matéria seca (MS), C e N com os dejetos são mostradas na tabela 1. As principais características dos dejetos utilizados no experimento são mostradas na Tabela 1. A dose de dejetos, tanto na aplicação única quanto na aplicação parcelada, foi estabelecida com base na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFS) - RS/SC (2004), a qual considera que 80 % do N total presente nos Dls estará disponível à cultura que sucede à aplicação dos dejetos. O inibidor de nitrificação utilizado foi a dicianodiamida (DCD), presente no produto Agrotain Plus, na concentração de 81 %. O Agrotain Plus, na forma de pó e na dose de 7,0 kg ha<sup>-1</sup> (5,7 kg ha<sup>-1</sup> de DCD), foi misturado aos dejetos no momento da sua aplicação no solo.

Tabela 1. Concentração de matéria seca (MS) relação C/N, pH dos dejetos e quantidades de MS, carbono (C) e nitrogênio (N) adicionada ao solo em dose única (pré-semeadura) e parcelada (pré-semeadura e cobertura) dos dejetos, no cultivo do milho e do trigo.

Forma de aplicação dos dejetos	Dose (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	MS (%)	MS .....	C .....	N total kg ha <sup>-1</sup> .....	N amoniacal	C/N	pH
Milho								
DLS Dose única	60	2,3	1380	510	169	120	3,0	7,1
DLS dose parcelada 1 <sup>a</sup> aplicação	20	2,3	460	170	56	40	3,0	7,1
2 <sup>a</sup> aplicação	42	1,3	563	155	108	99	1,4	7,2
Trigo								
DLS Dose única	50	1,3	650	175	127	102	1,4	7,8
DLS dose parcelada 1 <sup>a</sup> aplicação	16	1,3	208	56	41	33	1,4	7,8
2 <sup>a</sup> aplicação	26	2,9	745	234	104	71	2,3	7,7

Em 12/11/2010 os Dls foram distribuídos manualmente sobre os resíduos culturais da aveia. A quantidade de dejetos aplicada em pré-semeadura foi de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com dose única e de 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> nos tratamentos com aplicação parcelada. O restante (2/3) da dose parcelada (42 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) foi aplicado em cobertura, 23 dias após a semeadura do milho, quando este apresentava cinco folhas verdadeiras. A semeadura do milho (Pioneer 30K 75Y) foi realizada em 23/11/2010, onze dias após a aplicação dos Dls, com semeadora para plantio direto. O espaçamento entre linhas foi de 0,80 m e a população final de plantas foi de aproximadamente 77 mil plantas ha<sup>-1</sup>. No tratamento NPK foram aplicados 40 kg N ha<sup>-1</sup>, 115 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 90 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no momento da semeadura. O restante do N, na forma de uréia, foi aplicado em cobertura, no mesmo momento da aplicação da dose parcelada dos dejetos. A

cultura do milho foi irrigada por aspersão em situações de déficit hídrico e a colheita ocorreu em 27 de abril de 2011. Durante o cultivo do milho a temperatura média foi de 22° C, com um total de 956 mm de precipitações.

Em 01/06/2011, antecedendo a semeadura do trigo, foram reaplicados, nas mesmas parcelas, os tratamentos aplicados anteriormente na cultura do milho. Os dejetos foram distribuídos manualmente sobre os resíduos culturais do milho, sendo que nos tratamentos em dose única a quantidade foi de 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (127 kg N ha<sup>-1</sup>) enquanto na aplicação parcelada a dose foi de 16 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (41 kg N ha<sup>-1</sup>) em pré-semeadura e de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (104 kg N ha<sup>-1</sup>) em cobertura quando o trigo se encontrava no segundo perfilho, aos 49 dias após a semeadura. O trigo, cultivar Campo Real, foi semeado com semeadora para plantio direto, dois dias após a aplicação dos dejetos (03/06/2011), em linhas espaçadas em 0,17 m. Na semeadura foram aplicados 35 kg N ha<sup>-1</sup>, 65 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup> e 50 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> no tratamento NPK. A aplicação do N em cobertura, na forma de uréia (77 kg de N ha<sup>-1</sup>) ocorreu juntamente com a aplicação da dose de dejetos em cobertura. A colheita do trigo ocorreu em 1 de novembro de 2011. Durante o cultivo do trigo a temperatura média observada foi de 15,8° C, e as precipitações atingiram um total de 643 mm.

### 3.4.2. Emissão de Óxido Nitroso

As emissões de N<sub>2</sub>O foram mensuradas utilizando um dispositivo de aço galvanizado composto por uma base (0,3 m x 0,4 m) e a uma câmara (0,3 m x 0,4 m x 0,14 m). A base ficava no campo, inserida no solo a uma profundidade de 0,1 m, deixando exposta uma canaleta, com as dimensões de 0,03 m de largura e 0,04 m altura, para encaixe da câmara no momento da coleta de gás. Na canaleta externa à base era adicionada água para selar a câmara, impedindo as trocas gasosas do ambiente interno da câmara e o ambiente externo. As bases foram colocadas ao solo antecedendo a aplicação dos dejetos e estavam alocadas na entrelinha do milho. Para a colheita do milho e semeadura do trigo, as bases foram realocadas e postas na entrelinha do trigo, retirando-se uma linha do seu centro. As bases receberam uma quantidade de 3,8 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de aveia-preta no cultivo do milho e 10 Mg ha<sup>-1</sup> de resíduos culturais de milho no cultivo do trigo. A relação C/N dos resíduos de aveia-preta foi 38,6 e dos resíduos de milho foi 67,1.

As câmaras eram compostas de um cooler, uma válvula de três vias e um termômetro, utilizado para medir a temperatura interna. O cooler foi conectado a uma bateria momentos

antes da coleta de gás para homogeneização da atmosfera interna da câmara. Na válvula de três vias foi realizada a coleta de gás através de uma seringa de polipropileno de 20 mL. As amostras de gás foram armazenadas nestas seringas e levadas até o laboratório para a análise. O  $N_2O$  foi quantificado através de um cromatógrafo gasoso (Shimadzu GC-2014 modelo *Greenhouse*) equipado com um detector de captura de elétrons (ECD).

As coletas de  $N_2O$  foram realizadas durante um ano, com início em 13 de novembro de 2010, 18 horas após a aplicação dos dejetos, e conclusão em 1 de novembro de 2011 com a colheita do trigo. As coletas de  $N_2O$  ocorreram entre 9:00 e 11:00 da manhã e foram realizadas nos tempos 0, 15, 30 e 45 minutos após a colocação das câmaras sobre as bases.

Os fluxos foram calculados levando-se em conta a variação na concentração de  $N_2O$  na câmara durante o tempo em que ela permaneceu fechada, o volume da câmara, a área do solo ocupada pela câmara e o peso molecular do  $N_2O$  (Jantalia et al., 2008). O volume molar do gás foi corrigido para a temperatura no interior da câmara medida no momento de cada amostragem. Os fluxos médios ( $\mu g N m^{-2} h^{-1}$ ) e os desvios padrão foram calculados a partir dos fluxos medidos em três câmaras por tratamento. Os fluxos de  $N_2O$  diários foram calculados por interpolação linear e os fluxos cumulativos calculados pela integração das médias diárias. A variação da concentração do  $N_2O$  em cada coleta foi obtida pelo coeficiente angular da equação da reta ajustada aos valores obtidos nos tempos 0, 15, 30 e 45 minutos. As emissões de  $N_2O$  foram obtidas pelo valor médio das câmaras. O teste t LSD (Least Square Difference) a 5 % de probabilidade foi utilizado para comparação das médias.

A emissão acumulada de  $N_2O$  foi calculada com base na média dos fluxos de  $N_2O$  entre duas coletas consecutivas, multiplicando-se o valor resultante pelo intervalo de tempo decorrido entre as referidas coletas. Os fluxos médios de  $N_2O$  foram calculados somando-se os fluxos observados no período e dividindo-se pelo número de coletas realizadas no mesmo período.

Durante o período de avaliação do  $N_2O$ , foram monitorados os teores de N mineral ( $N-NH_4^+$  e  $N-NO_2^- + N-NO_3^-$ ), a temperatura e o EPSA. As coletas de solo foram realizadas na camada 0-0,1 m nos três blocos. O espaço poroso saturado por água (EPSA) foi calculado com base nos resultados do conteúdo gravimétrico de água no solo em cada data de avaliação e os valores de densidade do solo. Assumiu-se que o principal fator que controlou o EPSA foi o conteúdo de água no solo. O nitrogênio mineral ( $NH_4^+$  e  $NO_3^-$ ) do solo foi extraído com KCl 1 M e determinado por destilação (Tedesco et al., 1995).

### 3.5. Resultados

#### 3.5.1. Fluxo anual de N<sub>2</sub>O durante o cultivo do milho e do trigo

As emissões de N<sub>2</sub>O aumentaram em média em 255 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> logo após a aplicação e reaplicação dos dejetos nos dois períodos avaliados, reduzindo gradativamente (Figura 1). Os fluxos foram inferiores a 50 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> a partir dos 60 dias após a aplicação dos DLS no milho e após 35 e 70 dias da aplicação dos dejetos em dose única e parcelada no trigo, respectivamente. Os maiores fluxos de N<sub>2</sub>O geralmente ocorreram logo após a incidência da primeira precipitação, após a aplicação dos Dls. Fluxos elevados foram observados após a reaplicação dos dejetos e da uréia no cultivo do milho, mas o mesmo efeito não foi observado no cultivo do trigo.

Os fluxos de N-N<sub>2</sub>O variaram de 2 a 2.045 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> no cultivo do milho e de -0,7 a 843 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> no cultivo do trigo. Os fluxos médios de N<sub>2</sub>O foram maiores no cultivo do milho, sendo que o fluxo médio do tratamento testemunha foi 10 vezes superior durante o cultivo do milho em relação ao trigo. Em geral, os picos na emissão de N<sub>2</sub>O foram relacionados à ocorrência de precipitações, as quais aumentaram os valores de EPSA (Figura 2). As máximas emissões de N<sub>2</sub>O foram observadas aos 38 e 20 dias após aplicação dos dejetos no milho e no trigo, respectivamente.

#### 3.5.2. Efeito da forma de aplicação dos dejetos nas emissões de N<sub>2</sub>O

As modalidades de aplicação dos dejetos influenciaram de forma distinta as emissões de N<sub>2</sub>O. Durante o cultivo do milho, o fluxo máximo de N<sub>2</sub>O no tratamento Dls dose parcelada foi de 2.045 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup>, superando o tratamento Dls dose única em 4,7 vezes ( $p < 0,05$ ). O elevado fluxo ocorreu quatro dias após a reaplicação de 42 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de Dls, seguido da ocorrência de uma precipitação de 37 mm, que elevou os valores de EPSA para 74% (Figura 2). No cultivo do trigo o fluxo máximo de N<sub>2</sub>O foi observado no tratamento Dls dose única aos 20 dias, atingindo 843 µg N m<sup>-2</sup> h<sup>-1</sup> e superando o tratamento Dls dose parcelada em 9,5 vezes ( $p < 0,05$ ).

A modalidade de aplicação dos dejetos influenciou também os fluxos médios de N<sub>2</sub>O. A aplicação única dos dejetos reduziu os fluxos médios no milho em 12 %, em relação a sua aplicação parcelada (284 µg N m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> vs. 249 µg N m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>). Contrariamente, no cultivo do

trigo a aplicação parcelada dos dejetos reduziu em 50 % as emissões médias de  $N_2O$  em relação à aplicação única ( $80 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  vs.  $160 \mu\text{g N m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ).

A aplicação parcelada da uréia, com  $2/3$  da quantidade aplicada em cobertura, apresentou fluxos médios de  $N_2O$  próximos aos observados com a aplicação parcelada dos Dls. As maiores emissões de  $N-N_2O$  observadas no tratamento NPK ocorreram após a aplicação da uréia em cobertura e atingiram valores de  $1.412$  e  $413 \mu\text{g N-N}_2O \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$  no cultivo do milho e trigo, respectivamente. Estas emissões foram quase o dobro das emissões observadas após a aplicação de  $1/3$  da uréia em pré-semeadura.

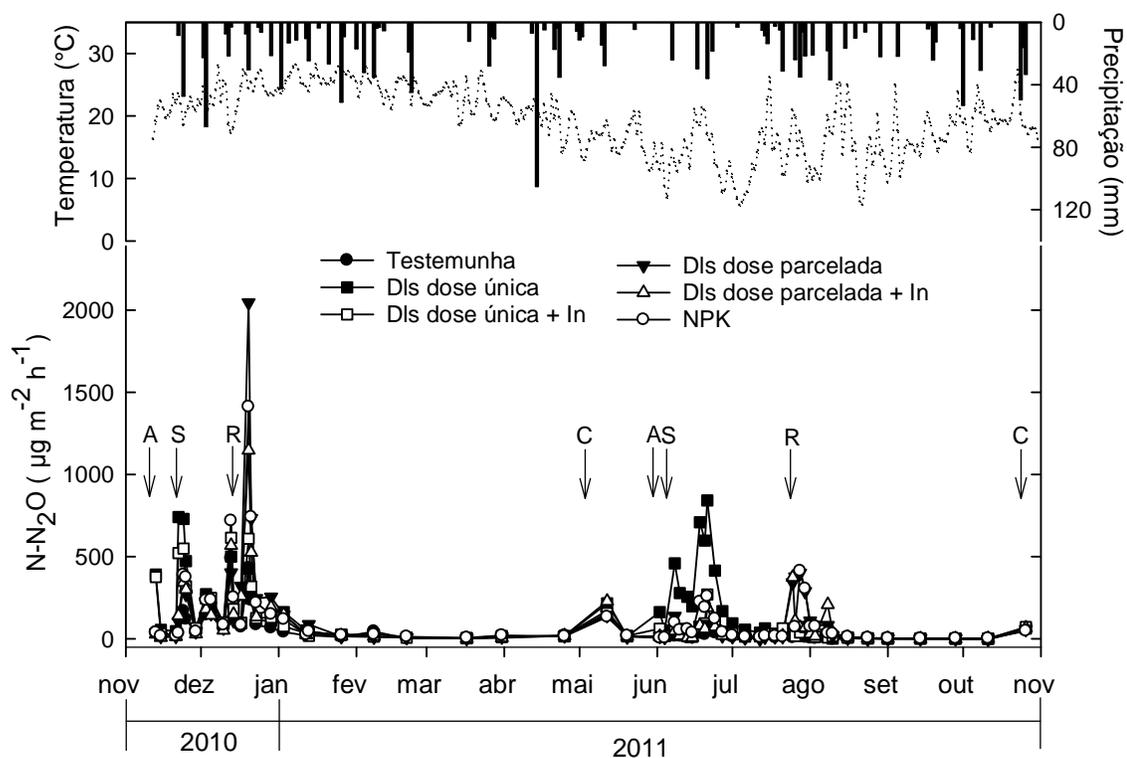


Figura 1. Emissões de  $N_2O$ , precipitação diária e temperatura média do ar durante o período de avaliação. As letras e siglas indicam A: aplicação dos dejetos líquidos de suínos (Dls), adubação mineral (NPK) e inibidor de nitrificação (In); S: semeadura; R: reaplicação dos Dls e N-uréia e C: colheita.

### 3.5.3. Efeito do inibidor de nitrificação (DCD) nas emissões de N<sub>2</sub>O

A aplicação do inibidor de nitrificação, juntamente com os DIs, reduziu os fluxos de N<sub>2</sub>O, independente da forma de aplicação dos dejetos. Os fluxos máximos de N<sub>2</sub>O durante o cultivo do milho e do trigo apresentaram redução de 44 e 68 % pelo uso do inibidor nos tratamentos DIs dose parcelada e DIs dose única, respectivamente ( $p < 0,05$ ). A eficiência da DCD em reduzir os fluxos médios de N<sub>2</sub>O foi maior no cultivo do trigo, no qual houve uma redução de 74 % na aplicação única dos dejetos e 34 % na aplicação parcelada. Já durante o cultivo do milho, a DCD reduziu os fluxos médios em 5 % na aplicação única e 22 % na aplicação parcelada.

### 3.5.4. Dinâmica do N mineral no solo e EPSA

A aplicação dos dejetos aumentou a concentração de amônio no solo e os valores se elevaram após a ocorrência da primeira precipitação (Figura 2). A redução nos teores de amônio foi rápida no tratamento DIs dose parcelada, atingindo valores próximos ao tratamento controle em menos de duas semanas. A presença do inibidor de nitrificação manteve o N na forma de amônio por um período maior em relação aos tratamentos sem o inibidor. O conteúdo de amônio diminuiu rapidamente no solo dos tratamentos que receberam DIs sem DCD, com aumento simultâneo nos teores de nitrato. A presença de DCD manteve baixos os teores de nitrato nos primeiros 15 dias após a aplicação dos DIs.

Os teores de nitrato apresentaram valores máximos aos 9 dias no cultivo do milho e entre 9 e 20 dias no cultivo do trigo. Durante o cultivo do milho, a concentração de nitrato no solo apresentou oscilações, aumentando em períodos secos e reduzindo após a ocorrência de precipitações. Baixas concentrações de nitrato foram observadas em todos os tratamentos após 60 dias no cultivo do milho e 70 dias no cultivo do trigo. A aplicação e reaplicação dos dejetos aumentaram os valores de EPSA, que variou de 49 a 74 % durante o cultivo do milho e de 59 a 82 % durante o cultivo do trigo (Figura 2).

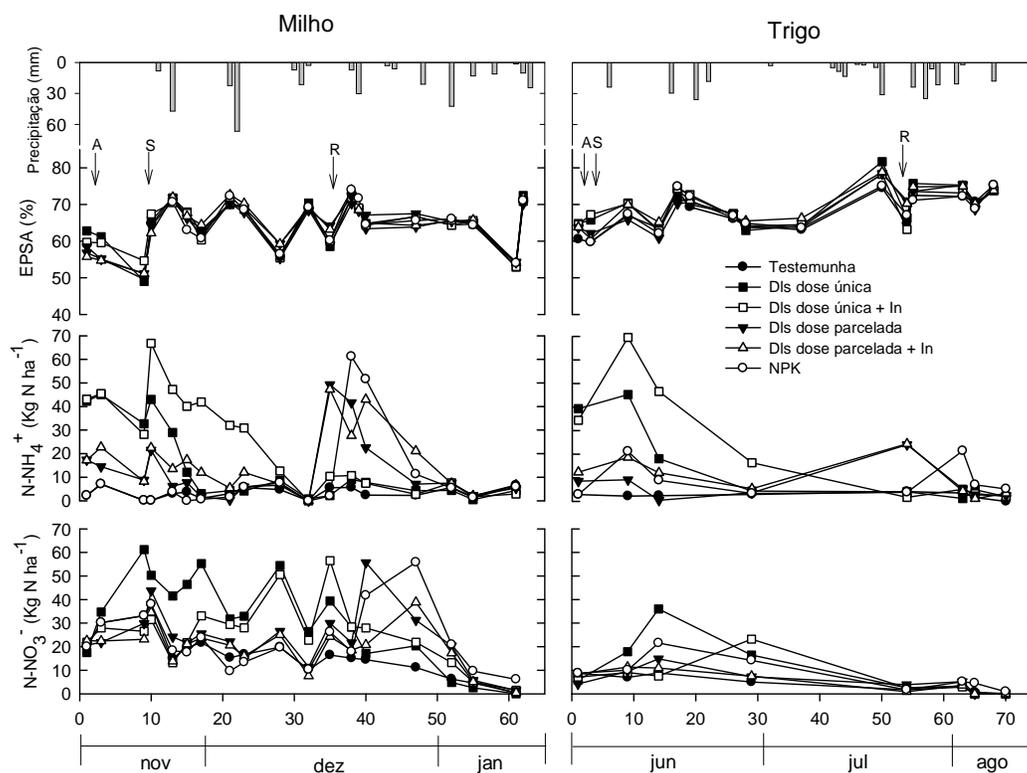


Figura 2. N-Mineral ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e espaço poroso saturado por água (EPSA) na camada 0-0,1 m nos primeiros 60 dias de cultivo do milho e 70 dias de cultivo do trigo. As letras e siglas indicam A: aplicação dos dejetos líquidos de suínos (Dls), adubação mineral (NPK) e inibidor de nitrificação (In); S: semeadura; R: reaplicação dos Dls e N-uréia.

### 3.5.5. Emissão acumulada de $\text{N}_2\text{O}$ e fator de emissão

A emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  apresentou uma dinâmica distinta para as duas modalidades de aplicação dos dejetos (Figura 3). No cultivo do milho, o tratamento Dls dose única apresentou emissão acumulada de  $\text{N-N}_2\text{O}$  inferior a  $225 \text{ g ha}^{-1}$  nos primeiros 10 dias. Com a ocorrência de precipitações entre 10 e 12 dias a quantidade de  $\text{N-N}_2\text{O}$  acumulada aumentou rapidamente, atingindo aproximadamente  $750 \text{ g ha}^{-1}$  aos 12 dias. A partir desse período a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentou linearmente até os 62 dias, estabilizando posteriormente e atingindo ao final dos 164 dias uma emissão acumulada de  $3.247 \text{ g de N-N}_2\text{O ha}^{-1}$ .

Já na aplicação parcelada no milho, a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  durante os primeiros 10 dias praticamente não diferiu do tratamento testemunha. Com a ocorrência das primeiras chuvas aos 10 dias e até a segunda aplicação de dejetos, aos 34 dias, a quantidade de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentou linearmente, com valores médios 30 % superiores ao tratamento testemunha e 38 % inferiores

ao tratamento com DIs em dose única. Com a reaplicação dos dejetos de suínos houve um rápido aumento nas quantidades acumuladas de  $N_2O$ , cujo valor final superou a aplicação dos DIs em dose única em  $512 \text{ g de } N-N_2O \text{ ha}^{-1}$  (14 %).

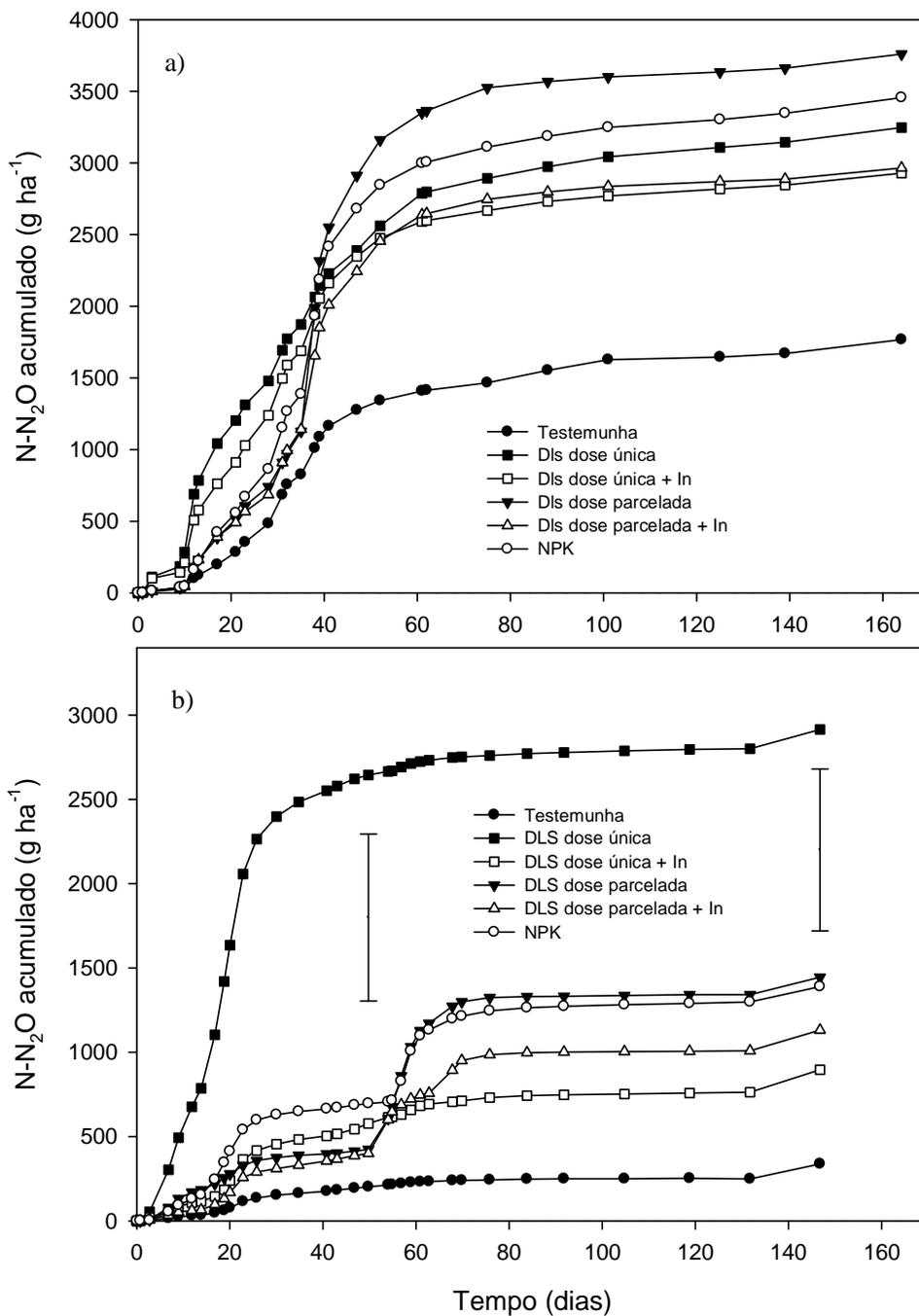


Figura 3. Emissão acumulada de  $N-N_2O$  após aplicação dos dejetos líquidos de suínos no milho (a) e no trigo (b). A barra vertical representa a diferença mínima significativa pelo teste LSD 5 %.

A emissão acumulada de  $N_2O$  do tratamento Dls dose única no cultivo do trigo foi inferior a  $50 \text{ g ha}^{-1}$  nos primeiros 4 dias. Com a ocorrência de precipitações entre os 7 e 25 dias, a quantidade de  $N-N_2O$  acumulada aumentou rapidamente, atingindo aproximadamente  $2.265 \text{ g ha}^{-1}$  (78 % do total emitido) aos 25 dias. A partir dos 35 dias a emissão acumulada estabilizou, não se observado aumento nos fluxos de  $N_2O$ , atingindo ao final dos 147 dias emissão total de  $3.247 \text{ g de } N-N_2O \text{ ha}^{-1}$ .

Com a aplicação parcelada dos dejetos no trigo houve um aumento gradativo na emissão cumulativa de  $N_2O$  nos primeiros 50 dias, apresentando uma emissão 39 % inferior ao tratamento NPK e 83 % inferior ao tratamento Dls dose única. Com a reaplicação dos dejetos aos 54 dias, a emissão acumulada do tratamento Dls dose parcelada aumentou rapidamente, atingindo ao final dos 147 dias valores de emissão acumulada 4 % superiores ao tratamento NPK e 50 % ( $1.470 \text{ g de } N-N_2O \text{ ha}^{-1}$ ) inferiores ao tratamento Dls dose única.

A dinâmica de emissão de  $N_2O$  observada no tratamento com aplicação de N-uréia em pré-semeadura e em cobertura foi similar àquela do tratamento que recebeu a dose parcelada de DLS nos dois cultivos. No milho, aos 164 dias a emissão acumulada de  $N_2O$  do tratamento NPK foi 8 % ( $304 \text{ g ha}^{-1}$ ) inferior ao tratamento com aplicação de Dls em dose parcelada e 6 % ( $209 \text{ g ha}^{-1}$ ) superior ao tratamento Dls dose única. No trigo, a aplicação dos dejetos em dose parcelada e em dose única superou em 4 e 52 % a emissão acumulada do tratamento NPK, respectivamente.

A emissão acumulada de  $N_2O$  foi menor nos tratamentos em que os Dls foram aplicados ao solo juntamente com o inibidor de nitrificação do que nos tratamentos que receberam apenas Dls e uréia. Nos primeiros 34 dias, a emissão acumulada de  $N-N_2O$  do tratamento Dls dose parcelada + In no milho apresentou comportamento semelhante ao tratamento Dls dose parcelada. Após a reaplicação dos dejetos, a emissão acumulada do tratamento Dls dose parcelada aumentou, superando o tratamento Dls dose parcelada + In em 21 % ao final dos 164 dias. A dinâmica de emissão do tratamento Dls dose única + In seguiu o mesmo comportamento do tratamento Dls dose única durante o cultivo do milho, apresentando ao final dos 164 dias uma redução de 10 % nas emissões acumuladas.

No trigo, a aplicação dos dejetos em dose única + In mostrou uma dinâmica de emissão cumulativa distinta do tratamento Dls dose única. Após a ocorrência de precipitações, entre 7 e 25 dias, a emissão acumulada do tratamento Dls dose única aumentou rapidamente, atingindo  $2.265 \text{ g ha}^{-1}$  de  $N-N_2O$  aos 25 dias. No tratamento Dls dose única + In a emissão acumulada aumentou gradativamente apresentando aos 25 dias,  $418 \text{ g ha}^{-1}$  de  $N-N_2O$  emitido, valor 82 % menor do que o tratamento Dls dose única. Ao final de 147 dias, o tratamento Dls

dose única + In emitiu 69 % menos N-N<sub>2</sub>O do que o tratamento DIs dose única. O tratamento DIs dose parcelada apresentou emissão cumulativa muito próxima ao tratamento DIs dose parcelada + In nos primeiros 49 dias. Após a reaplicação dos dejetos, o tratamento DIs dose parcelada aumentou rapidamente a emissão cumulativa superando em 22 % as emissões do tratamento DIs dose parcelada + In.

As maiores emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O foram observadas durante o cultivo do milho, variando de 1,77 a 3,76 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, enquanto que durante o cultivo do trigo as emissões cumulativas variaram de 0,3 a 2,9 kg N-N<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (Tabela 2). As menores emissões cumulativas foram observadas no tratamento testemunha.

Tabela 2. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O e fator de emissão (% do N aplicado) durante o cultivo do milho e do trigo. As letras indicam a diferença estatística pelo Teste LSD 5%.

Tratamentos <sup>1</sup>	N-N <sub>2</sub> O (kg ha <sup>-1</sup> )	N-N <sub>2</sub> O (% de N aplicado)
	..... Milho .....	
Testemunha	1,77	-
DIsDu	3,25	0,88
DIsDu+In	2,93	0,69
DIsDp	3,76	1,21
DIsDp+In	2,97	0,73
NPK	3,46	1,26
	..... Trigo .....	
Testemunha	0,34 c	-
DIsDu	2,91 a	1,69 a
DIsDu+In	0,90 bc	0,37 b
DIsDp	1,44 b	0,76 b
DIsDp+In	1,13 bc	0,55 b
NPK	1,39 b	0,94 b

<sup>1</sup>DIs: Dejetos líquidos de suínos; Du: Dose única; Dp: Dose parcelada; In: Inibidor de nitrificação. As médias seguidas das mesmas letras não diferenciam entre si pelo teste de LSD 5 %.

A adição de DCD aos DIs reduziu as emissões cumulativas de N<sub>2</sub>O nas duas modalidades de aplicação dos dejetos no milho e no trigo, embora só houve diferença significativa na aplicação única dos dejetos no cultivo do trigo (LSD < 0,05). No cultivo do trigo, a redução das emissões de N<sub>2</sub>O foi de 69 % na modalidade de aplicação única e 22 % na modalidade de aplicação parcelada. No cultivo do milho a emissão cumulativa de N<sub>2</sub>O não diferiu na combinação de DCD com DIs, embora tenha ocorrido redução de 15,5 % nas duas modalidades de aplicação. A aplicação parcelada dos DIs, sem a utilização de DCD, reduziu a emissão cumulativa de N<sub>2</sub>O em 48 % durante o cultivo do trigo, comparada à aplicação única. No cultivo do milho, a aplicação parcelada dos dejetos não diferiu da aplicação única.

A proporção do N adicionado e que foi perdido na forma de  $N_2O$  (fator de emissão) variou de 0,69 a 1,26 % no cultivo do milho e de 0,37 a 1,69 % no cultivo do trigo. Durante o cultivo do milho o tratamento NPK apresentou o maior FE (1,26 %), seguido pelo tratamento DIs dose parcelada (1,21 %) e DIs dose única (0,88 %). No cultivo do trigo, houve maior variação nos valores do FE dos tratamentos que receberam DIs, nas duas modalidades de aplicação, e no tratamento NPK. O tratamento DIs dose única apresentou o maior FE (1,69 %), seguido pelo tratamento NPK (0,94 %) e DIs dose parcelada (0,76 %). Embora o fator de emissão dos tratamentos que apresentaram o inibidor de nitrificação não tenha diferido dos demais tratamentos que receberam dejetos, houve uma tendência de redução no fator de emissão dos tratamentos que receberam inibidor de nitrificação.

### **3.6. Discussão**

#### **3.6.1. Fluxo anual de $N_2O$**

Os fluxos de  $N_2O$  aumentaram logo após a aplicação dos dejetos, o que pode ser atribuído ao processo de desnitrificação e confirma resultados obtidos em outros estudos (Rochette et al., 2004; Meade et al., 2011). O C solúvel dos dejetos pode estimular a atividade microbiana, favorecendo a formação de microsítios de anaerobiose no solo devido ao aumento da demanda respiratória por  $O_2$ , além de sustentar a atividade das bactérias desnitrificadoras, que são heterotróficas (Bhandral et al., 2007). A elevada concentração de líquido dos dejetos também pode aumentar os valores de EPSA do solo após sua aplicação, favorecendo a desnitrificação.

Os maiores fluxos de  $N_2O$  geralmente foram observados logo após a ocorrência da primeira precipitação após a aplicação dos DIs no solo. A aplicação dos dejetos em plantio direto faz com que parte do C e N oriundos dos mesmos, que ficou retido nos resíduos culturais, seja transferido para o solo após as primeiras precipitações. Desta forma, a concentração de amônio no solo aumenta com as precipitações nos tratamentos com a aplicação de dejetos, juntamente com as emissões de  $N_2O$ . Este é um aspecto importante a ser melhor avaliado e confirmado em estudos futuros, já que o tempo entre a aplicação dos dejetos e a ocorrência das primeiras precipitações pode alterar a dinâmica do N no solo e o impacto sobre as emissões de  $N_2O$ .

O efeito da aplicação dos dejetos nas emissões de  $N_2O$  foi de curta duração, sendo os maiores fluxos observados durante os primeiros 60 e 70 dias após a aplicação nas culturas do milho e do trigo, respectivamente. Neste período, os fluxos foram relacionados com a

ocorrência de precipitações e a elevação do EPSA. A ocorrência de precipitações reduz a taxa de difusão do oxigênio no solo criando microsítios de anaerobiose e favorecendo as emissões de  $N_2O$  (Bhandral et al., 2007). Os fluxos de  $N_2O$  atingiram valores constantes após este período, possivelmente restringidos pela disponibilidade de C e de nitrato. O C solúvel é fonte de energia as bactérias desnitrificadoras (Azam et al., 2002). A disponibilidade de C solúvel tem sido apontada como o principal fator limitante da emissão de  $N_2O$ , pois mesmo em condições anaeróbicas e disponibilidade de  $NO_3^-$ , os fluxos retornam aos valores iniciais após a exaustão do C disponível (Rochette et al., 2004).

Fatores ambientais como temperatura e umidade também interferem na emissão de  $N_2O$ . Neste estudo, os menores fluxos de  $N_2O$  foram observados durante o cultivo do trigo, quando as temperaturas médias diárias foram menores do que no milho enquanto que os valores de EPSA foram maiores, (Figura 1 e 2). Conforme Maag e Vinther (1996) baixas temperaturas reduzem a taxa de nitrificação e desnitrificação, reduzindo a emissão de  $N_2O$ . Durante o cultivo do milho as maiores emissões foram relacionadas à ocorrência de precipitações. Em condições de temperatura mais elevada, não limitante ao processo de nitrificação e desnitrificação, o EPSA exerce maior influência sobre as emissões de  $N_2O$  (Jiang et al., 2010).

O histórico da área também pode ter influenciado nas maiores emissões de  $N_2O$  observadas durante o cultivo do milho, em relação ao trigo. Anteriormente à instalação do experimento, a área encontrava-se sob pousio, recebeu calagem e foi submetida à aração e gradagem para incorporação do calcário. As operações de preparo do solo e a calagem podem ter favorecido a mineralização da matéria orgânica do solo. Esperava-se que o cultivo da aveia preta, seis meses antes da instalação do experimento com milho, reduzisse o potencial de fornecimento de N pelo solo. Contudo, ele se manteve elevado durante o cultivo do milho, conforme indica a concentração de  $N-NO_3^-$  no solo do tratamento testemunha, no início do experimento (Figura 2). As maiores temperaturas observadas neste período podem ter favorecido a mineralização da matéria orgânica presente no solo, disponibilizando N e C e, assim, potencializando as emissões de  $N_2O$ .

### **3.6.2. Influência da forma de aplicação de N na emissão de $N_2O$**

As modalidades de aplicação dos dejetos influenciaram os fluxos de  $N_2O$  nos dois períodos avaliados. No cultivo do milho, a aplicação parcelada dos dejetos aumentou os fluxos médios de  $N_2O$  em relação à aplicação única. Possivelmente, os maiores fluxos médios

observados estejam condicionados ao elevado fluxo observado após a reaplicação dos dejetos. A ocorrência de temperaturas elevadas após a reaplicação dos dejetos possibilitou que parte do  $\text{NH}_4^+$  presente nos dejetos fosse nitrificado rapidamente. A disponibilidade de nitrato no solo juntamente com o C dos dejetos favoreceu a atividade das bactérias desnitrificadoras após a ocorrência da precipitação. Além disso, a elevada concentração de nitrato no solo pode inibir a enzima  $\text{N}_2\text{O}$  redutase, aumentando a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  em relação a  $\text{N}_2$  (Senbayram et al., 2011).

No cultivo do trigo, a aplicação parcelada dos dejetos reduziu os fluxos médios de  $\text{N}_2\text{O}$  em relação à aplicação única. Provavelmente, as menores temperaturas relativamente ao período de cultivo do milho observadas após a reaplicação dos dejetos no trigo reduziram as taxas de nitrificação do  $\text{NH}_4^+$ , e a precipitação ocorrida no dia posterior à aplicação favoreceu a infiltração dos dejetos no solo. Desta forma, possivelmente a baixa disponibilidade de  $\text{NO}_3^-$  no solo limitou a geração de  $\text{N}_2\text{O}$  logo após a reaplicação.

### 3.6.3. Influencia do inibidor de nitrificação nas emissões de $\text{N}_2\text{O}$

O uso do inibidor de nitrificação juntamente com os DIs reduziu os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  independente da forma de aplicação nos dois períodos experimentais. Estes resultados confirmam e suportam estudos anteriores, evidenciando o potencial da DCD em mitigar as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  em solos que recebem dejetos de suínos (Vallejo et al., 2005; Mejjide et al., 2007). A eficiência da DCD em reduzir as emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  está relacionada à inibição da nitrificação, bloqueando o sítio ativo da enzima amônia monooxigenase presente nas bactérias *Nitrosomonas* sp., reduzindo a taxa de conversão de amônio para nitrito (Zacherl e Amberger, 1990). Embora DCD não atue sobre a desnitrificação, seu efeito pode afetar indiretamente este processo, pois reduz a quantidade de  $\text{NO}_3^-$  no solo. Reduções significativas nas emissões de  $\text{N}_2\text{O}$  com o uso de DCD foram observadas no trabalho de Mejjide et al. (2007) e Merino et al. (2001).

O inibidor de nitrificação apresentou maior eficiência em reduzir os fluxos de  $\text{N}_2\text{O}$  durante o cultivo do trigo. Possivelmente, a sua maior eficiência está relacionada às menores temperaturas observadas neste período. A efetividade da DCD reduz com o aumento da temperatura (Irigoyen et al., 2003). Temperaturas elevadas aumentam o metabolismo microbiano, havendo rápida degradação de DCD pelos microrganismos do solo, os quais podem utilizar o inibidor como fonte de N (Hauser e Haselwandter, 1990). O efeito inibitório da DCD sobre a nitrificação pode ser observado através da preservação do  $\text{NH}_4^+$  no solo dos

tratamentos com aplicação de dejetos no milho e no trigo. No trigo esse efeito prolongou-se foi observado durante os primeiros 30 dias do experimento (Fig. 2). Estes resultados indicam que em condições de temperaturas elevadas, maior concentração de DCD pode ser necessária para uma redução efetiva das emissões de  $N_2O$ .

#### 3.6.4. Emissão cumulativa de $N_2O$ e fator de emissão

No milho, a emissão acumulada de  $N_2O$  no tratamento com DIs em dose única foi baixa nos primeiros 10 dias. Com a ocorrência de chuvas entre 10 e 12 dias e com a presença de  $NO_3^-$  no solo, proveniente da nitrificação do N amoniacal dos dejetos, a quantidade acumulada de N- $N_2O$  aumentou rapidamente. A partir desse período a emissão de  $N_2O$  apresentou um aumento praticamente linear e aos 62 dias estabilizou. A estabilização da emissão acumulada de  $N_2O$  deve estar relacionada aos baixos fluxos observados a partir dos 62 dias, principalmente devido a restrição da desnitrificação pela baixa disponibilidade de C e nitrato no solo, já que o milho estava em fase de absorção ativa deste ânion.

Na aplicação parcelada no milho, a emissão de  $N_2O$  durante os primeiros 10 dias praticamente não diferiu do tratamento testemunha, o que pode ser atribuído à pequena quantidade de N adicionada ao solo pelos dejetos, na dose de  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Com a ocorrência das primeiras chuvas aos 10 dias e até a segunda aplicação de dejetos, aos 34 dias, a quantidade de  $N_2O$  aumentou linearmente. Com o aumento na disponibilidade de C, de N amoniacal e de líquidos com a reaplicação de dejetos ( $42 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), aliado à ocorrência de chuvas, houve um rápido aumento nas quantidades acumuladas de  $N_2O$ , cujo valor final superou a aplicação de DIs em dose única. Tais resultados mostram que, apesar da cinética distinta de emissão de  $N_2O$ , a quantidade final emitida dessa forma gasosa de N não diferiu entre as duas modalidades de uso dos dejetos no milho.

No cultivo do trigo, a emissão de N- $N_2O$  do tratamento DIs dose única foi inferior a  $50 \text{ g ha}^{-1}$  nos primeiros 4 dias. Após esse período, a emissão cumulativa aumentou rapidamente atingindo, aos 25 dias, 78 % da quantidade de N- $N_2O$  emitido durante todo o período. A disponibilidade de C dos dejetos e a presença de  $NO_3^-$  no solo, proveniente da nitrificação do N amoniacal dos dejetos, associados à ocorrência de precipitações neste período, que mantiveram os valores de EPSA acima de 60 %, favoreceram a ocorrência da desnitrificação. Rochette et al. (2000) também observaram maiores emissões no primeiro mês após a aplicação dos dejetos de suínos e atribuíram essas emissões à adição de C e N via dejetos. A

emissão cumulativa estabilizou após 35 dias possivelmente pela menor disponibilidade de C e  $\text{NO}_3^-$  que restringiram a ocorrência da desnitrificação.

A aplicação parcelada dos dejetos no trigo apresentou emissão cumulativa de N- $\text{N}_2\text{O}$  inferior a  $400 \text{ g ha}^{-1}$  nos primeiros 50 dias, sendo 84 % menor ao tratamento Dls dose única. Este resultado deve estar relacionado à menor quantidade de C e N adicionada via Dls na aplicação parcelada ( $16 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), comparada à aplicação única de  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Com a reaplicação dos dejetos ( $26 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), a emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  aumentou rapidamente, estando associada à ocorrência de precipitações, além da presença de C solúvel e nitrato. Apesar da emissão acumulada de  $\text{N}_2\text{O}$  ter aumentado com a reaplicação dos dejetos, ela não atingiu a emissão cumulativa do tratamento Dls dose única. A ocorrência de precipitações após a aplicação dos dejetos no trigo, somada a maior quantidade de C e N adicionada com os dejetos na aplicação única, favoreceram maiores perdas de N- $\text{N}_2\text{O}$  nos primeiros dias de cultivo no tratamento Dls dose única em relação à aplicação parcelada. Estes resultados mostram que a aplicação parcelada dos dejetos pode reduzir a quantidade emitida de  $\text{N}_2\text{O}$  em relação à aplicação única.

A cinética de emissão de  $\text{N}_2\text{O}$  observada no tratamento com aplicação de NPK na semeadura e N-uréia em cobertura foi similar àquela do tratamento que recebeu a dose parcelada de DLS tanto no milho como no trigo. Os resultados mostram que a aplicação de dejetos de suínos e de uréia, seguindo a recomendação para o milho e o trigo, apresenta conseqüências similares sobre a emissão de  $\text{N}_2\text{O}$ .

O inibidor de nitrificação reduziu a emissão cumulativa de N- $\text{N}_2\text{O}$  e o fator de emissão apenas no tratamento Dls dose única no cultivo do trigo, apresentado uma tendência de redução nos demais tratamentos nos dois cultivos ( $\text{LSD} < 0,05$ ). Zaman et al. (2009) observaram redução de 75 % e 42 % no fator de emissão ao utilizarem DCD combinado a urina de vacas em pastagens no outono e na primavera, respectivamente.

De modo geral, com exceção do tratamento Dls dose única no cultivo do trigo, os fatores de emissão foram maiores no cultivo do milho. Os resultados estão de acordo com Rochette et al. (2004) que observaram maior fator de emissão após aplicação dos dejetos na primavera em relação ao outono. Possivelmente, os maiores fatores de emissão observados no cultivo do milho estão relacionados às maiores temperaturas neste período, que proporcionam maiores taxas de nitrificação e desnitrificação.

O maior fator de emissão observado no tratamento Dls dose única durante o cultivo do trigo pode estar relacionado às condições ambientais observadas no período que sucedeu a

aplicação dos DIs. A ocorrência de sucessivas precipitações manteve as emissões de  $N_2O$  elevadas, que impactaram significativamente na emissão cumulativa deste tratamento.

### **3.7. Conclusões**

O uso de dejetos líquidos de suínos e uréia, seguindo a recomendação para o cultivo do milho e do trigo, apresenta conseqüências similares sobre a emissão de  $N_2O$ . O parcelamento da dose dos dejetos de suínos reduziu a emissão de  $N_2O$  no cultivo do trigo, não tendo efeito no cultivo do milho. O inibidor de nitrificação reduziu a emissão de  $N_2O$  no tratamento DIs dose única no cultivo do trigo.

### 3.8. Literatura Citada

- Aita, C., S.J. Giacomini, A.P. Hübner. 2007. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 42:95-102.
- Azam, F., C. Müller, A. Weiske, G. Benckiser, J. C. G. Ottow. 2002. Nitrification and denitrification as sources of atmospheric nitrous oxide – role of oxidizable carbon and applied nitrogen. *Biology and Fertility of Soils*. 35:54-61
- Berenguer, P., F. Santiveri, J. Boixadera, J. Lloveras. 2008. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *European Journal of Agronomy*. 28:635-645.
- Bhandral, R., N.S. Bolan, S. Saggar, M.J. Hedley. 2007. Nitrogen transformation and nitrous oxide emissions from various types of farm effluents. *Nutrient cycling in agroecosystems*. 79:193-208.
- Bremner, J. M. 1960. Determination of nitrogen in soil by the Kjeldhal method. *Journal of Agricultural Science* 55:11-33.
- Comissão de química e fertilidade do solo - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS - Núcleo Regional Sul/UFRGS, 2004, 400 p.
- Hauser, M., K. Haselwandter. 1990. Degradation of dicyandiamide by soil bacteria. *Soil Biology and Biochemistry*. 22:113-114.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2006. In. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), *Guidelines for National Greenhouse gas Inventories*, vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse gas Inventories Programme.
- Irigoyen, I., J. Muro, M. Azpilikueta, P. Aparecio-Tejo, C. Lamsfus. 2003. *Australian Journal of Soil Research*. 41:1177-1183.
- Jantalia, C. P., H.P. Santos, S. Urquiaga, R.M. Boddey, B.J.R. Alves. 2008. Fluxes of nitrous oxide from soil under different crop rotations and tillage systems in the South of Brazil. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 82:161-173.
- Jiang, J., Z. Hu, W. Sun, Y. Huang. 2010. Nitrous oxide emissions from Chinese cropland fertilized with a range of slow-release nitrogen compounds. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 135:216-225.
- Klein, C.A.M., C.K. Cameron, H.J. Di, G. Rys, R.M. Monaghan, R.R. Sherlock. 2011. Repeated annual use of the nitrification inhibitor dicyandiamide (DCD) does not alter its effectiveness in reducing N<sub>2</sub>O emissions from cow urine. *Animal Feed Science and Technology*. 166:480-491.
- Magg, M., F. P. Vinther, 1996. Nitrous oxide emission by nitrification and denitrification in different soil types and at different soil moisture contents and temperatures. *Applied Soil Ecology* 4:5-14.

- Meade, G., K. Pierce, J.V. O'Doherty, C. Mueller, G. Lanigan, T. McCabe. 2011. Ammonia and nitrous oxide emissions following land application of high and low nitrogen pig manures to winter wheat at three growth stages. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 140:208-217.
- Meijide, A., J.A. Díez, L. Sanchez-Martin, S. Lopez-Fernandez, A. Vallejo. 2007. Nitrogen oxide emissions from an irrigated maize crop amended with treated pig slurries and composts in a Mediterranean climate. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 121:383-394.
- Merino, P., J.M. Estavillo, G. Besga, M. Pinto, C. González-Murua. 2001. Nitrification and denitrification derived N<sub>2</sub>O production from a grassland soil under application of DCD and Actilith F2. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 60: 9-14.
- Mkhabela, M.S., R. Gordon, D. Burton, A. Madani, W. Hart, A. Elmi. 2006. Ammonia and nitrous oxide emissions from two acidic soils of Nova Scotia fertilised with liquid hog manure mixed with or without dicyandiamide. *Chemosphere*. 65:1381-1387.
- Rochette, P., D.A. Angers, M.H. Chantigny, N. Bertrand. 2004. Carbon Dioxide and Nitrous Oxide Emissions following Fall and Spring Applications of Pig Slurry to an Agricultural Soil. *Soil Science Society of America Journal* 68:1410-1420.
- Rochette, P., E.V. Bochov, D. Prevost, D.A. Angers, N. Bertrand. 2000. Soil Carbon and Nitrogen Dynamics Following Application of Pig Slurry for the 19th Consecutive year: II. Nitrous Oxide Fluxes and Mineral Nitrogen. *Soil Science Society of America Journal* 64:1396-1403.
- Sanchez-Martín, L., A. Vallejo, J. Dick, U. M. Skiba. 2008. The influence of soluble carbon and fertilizer nitrogen on nitric oxide and nitrous oxide emissions from two contrasting agricultural soils. *Soil Biology & Biochemistry*. 40:142-151.
- Sánchez, M., J.L. González. 2005. The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. *Bioresource Technology*. 96:1117-1123.
- Sembayram, M., R. Chen, A. Budai, L. Bakken, K. Dittert. 2011. N<sub>2</sub>O emission and the N<sub>2</sub>O/(N<sub>2</sub>O+N<sub>2</sub>) product ratio of denitrification as controlled by available carbon substrates and nitrate concentrations. *Agriculture, Ecosystems and Environment* doi:10.1016/j.agee.2011.06.022.
- Stark, C.H., K.G. Richards. 2008. The continuing challenge of agricultural nitrogen loss to the environment in the context of global change and advancing research. *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 2:1-12.
- Vallejo, A., L. Garcia-Torres, J.A. Díez, A. Arce, S. Lopez-Fernandez. 2005. Comparison of N losses (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. *Plant and Soil*. 272:313-325.
- Vallejo, A., U. M. Skiba, L. Garcia-Torres, A. Arce, S. Lopez-Fernandez, L. Sanchez-Martin. 2006. Nitrogen oxides emission from soils bearing a potato crop as influenced by fertilization with treated pig slurries and composts. *Soil Biology & Biochemistry*. 38:2782-2793.
- Whalen, S.C. 2000. Nitrous Oxide Emission from an Agricultural Soil Fertilized with Liquid Swine Waste or Constituents. *Soil Science Society of American Journal*. 64:781-789.

- Zacherl, B., A. Amberger. 1990. Effect of the nitrification inhibitors dicyandiamide, nitrapyrin and thiourea on *Nitrosomonas europaea*. *Fertilizer Research*. 22:37-44.
- Zaman, M. Saggar, S. Blennerhassett, J.D. Singh, J. 2009. 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 & Biochemistry*. 41:1270-1280.
- Zaman, M., J.D. Blennerhassett. 2010. Effects 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*. 136:236-246.

## 4. DISCUSSÃO

Com base nos resultados dos artigos I e II foi estabelecida uma relação entre a quantidade de N-N<sub>2</sub>O emitida e a produtividade de grãos no milho e no trigo (Tabela 1). A menor relação N-N<sub>2</sub>O/Produtividade ocorreu no tratamento testemunha, que apresentou a menor emissão de N-N<sub>2</sub>O nos dois cultivos. No entanto, sua produtividade também foi baixa. Devido à crescente demanda da população por alimentos e levando em consideração a manutenção da produtividade, relativamente à rentabilidade do produtor, a não fertilização dos cultivos não se apresenta como uma boa alternativa, embora emita pouco N<sub>2</sub>O.

A aplicação parcelada dos dejetos apresentou relação N-N<sub>2</sub>O/Produtividade semelhante à aplicação única no cultivo do milho, porém essa relação foi menor no cultivo do trigo. A ocorrência de precipitações após a aplicação dos dejetos no trigo e na reaplicação dos dejetos no milho elevou os fluxos de N<sub>2</sub>O nos tratamentos DIs dose única e DIs dose parcelada, respectivamente. Possivelmente, os elevados fluxos observados condicionaram os resultados finais da emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O nestes tratamentos.

Os dejetos de suínos apresentaram maior relação N-N<sub>2</sub>O emitido por Mg de grãos produzidos quando comparados à aplicação do fertilizante mineral (NPK). Levando em consideração que os dejetos adicionaram quantidades de N amoniacal próximos ao tratamento NPK nos dois cultivos (Figura 3, Artigo I), a maior relação N-N<sub>2</sub>O/Produtividade observada poderia estar relacionada à presença de C nos dejetos. Em condições ambientais favoráveis a emissão de N<sub>2</sub>O, a presença de C nos dejetos favorece a emissão deste gás comparado ao tratamento NPK. Além disso, os dejetos são constituídos de uma grande quantidade de líquidos que promovem aumento no fluxo de N<sub>2</sub>O logo após sua aplicação no solo, o que não foi observado após a aplicação da uréia.

Para manter a produtividade das culturas, com redução nas emissões de N<sub>2</sub>O após aplicação dos dejetos de suínos, o uso do inibidor de nitrificação associado aos dejetos constitui uma boa alternativa. Comparando os tratamentos que receberam fertilização, a menor relação N<sub>2</sub>O/produtividade foi observada nos tratamentos que receberam DCD nas duas modalidades de aplicação dos dejetos. Estes resultados são consistentes com outros estudos em que houve uma redução na quantidade de N-N<sub>2</sub>O emitido por Mg de grãos de trigo produzidos ao se utilizar DCD combinado à uréia (Majumdar et al., 2002; Bathia et al., 2010).

Tabela 1. Emissão cumulativa de N-N<sub>2</sub>O, produtividade de grãos e relação entre as emissões de N-N<sub>2</sub>O e a produtividade de grãos no milho e no trigo.

Cultura	Tratamentos <sup>1</sup>	N-N <sub>2</sub> O emitido (kg ha <sup>-1</sup> )	Produtividade (Mg ha <sup>-1</sup> )	N-N <sub>2</sub> O/Produtividade (g Mg <sup>-1</sup> )
Milho	Testemunha	2,3	8,1	288
	NPK	3,9	9,7	402
	DlsDu	3,9	9,0	437
	DlsDu+In	3,5	9,6	359
	DlsDp	4,2	9,7	437
	DlsDP+In	3,7	10,0	370
Trigo	Testemunha	0,3	2,0	170
	NPK	1,4	4,3	326
	DlsDu	2,9	3,6	801
	DlsDu+In	0,9	3,9	228
	DlsDp	1,4	3,8	380
	DlsDP+In	1,1	3,7	302

<sup>1</sup>Dls: Dejetos líquidos de suínos; Du: Dose única; Dp: Dose parcelada; In: Inibidor de nitrificação

## 5. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados obtidos nos estudos (artigo I e artigo II) permitem concluir que a modificação da forma de aplicação dos dejetos de suínos e o uso de inibidor de nitrificação não afetam o acúmulo de N e a produtividade dos cultivos. A aplicação parcelada dos dejetos traz benefícios ambientais referentes às emissões de N<sub>2</sub>O no cultivo do trigo, com redução de 52 % nas emissões de N<sub>2</sub>O. O uso do inibidor de nitrificação promove redução nos fluxos de N<sub>2</sub>O, nas duas modalidades de aplicação. Em média, o uso do inibidor de nitrificação reduziu em 12,5 % as emissões de N<sub>2</sub>O no milho e em 45 % no trigo. Os resultados sugerem a necessidade de aplicar doses maiores de inibidor de nitrificação no verão, a fim de mitigar as emissões de N<sub>2</sub>O após a aplicação de dejetos de suínos em plantio direto de milho.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & HÜBNER, A.P. Nitrificação do nitrogênio amoniacal de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42:95-102, 2007.

BATHIA, A. et al. Mitigating nitrous oxide emission from soil under conventional and no-tillage in wheat using nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 13, p. 247-253, 2010.

BERENQUER, P. et al. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. **European Journal Agronomy**, v. 28, p. 635-645, 2008.

DAUDÉN, A.; QUÍLEZ, D. Pig slurry versus mineral fertilization on corn yield and nitrate leaching in a Mediterranean irrigated environment. **European Journal of Agronomy**, v. 21, p.7-19, 2004.

GARABET, S.; WOOD, M.; RYAN, J. Nitrogen and water effects on wheat yield in a Mediterranean-type climate I. Growth, water-use and nitrogen accumulation. **Field Crops Research**, v. 57, p. 309-318, 1998.

GILTRAP, D. L. et al. A preliminary study to model the effects of a nitrification inhibitor on nitrous oxide emissions from urine-amended pasture. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 136, p. 310-317, 2010.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Efetivo de suínos. 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2010/ppm2010.pdf>>. Acesso em: 6 de janeiro de 2012.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. In. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Guidelines for National Greenhouse gas Inventories, vol. 4, Agriculture, Forestry and Other Land Use. National Greenhouse gas Inventories Programme.

KELLIHER, F. M. et al. The temperature dependence of dicyandiamide (DCD) degradation in soils: A data synthesis. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 40, p. 1878-1882, 2008.

KONZEN, E.A.; PERREIRA FILHO, I.A.; BAHIA FILHO, A.F.C. & PEREIRA, F.A. Manejo do esterco líquido de suínos e sua utilização na adubação do milho. Sete Lagoas, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1997. 31 p. (Circular Técnica, 25).

KUNZ, A.; HIGARASHI, M. M.; OLIVEIRA, P. A. Tecnologias de manejo e tratamento de dejetos de suínos estudadas no Brasil. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 651-665, set./dez. 2005.

LÓPEZ-BELLIDO, L.; LÓPEZ-BELLIDO, R. J.; REDONDO, R. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split nitrogen application. **Field Crops Research**, v. 94, p. 86-97, 2005.

MAJUMDAR, D. et al. Nitrous oxide emission from a sandy loam Inceptisol under irrigated wheat in India as influenced by different nitrification inhibitors. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 91, p. 283-293, 2002.

MATTILA, P. K. Ammonia volatilization, nitrogen in soil, and growth of barley after application of peat manure and pig slurry. **Agricultural and Food Science**, v. 15, p. 138-151, 2006.

MERINO, P. et al. Nitrification and denitrification derived N<sub>2</sub>O production from a grassland soil under application of DCD and Actilith F2. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 60, p. 9-14, 2001.

MOSIER, A. R. et al. Assessing and mitigating N<sub>2</sub>O emissions from agricultural soils. **Climatic Change**, v. 40, p. 7-38, 1998.

OENEMA, O.; OUDENDAG, D.; VELTHOF, G. L. Nutrient losses from manure Management in the European Union. **Livestock Science**, v. 112, p. 261-272, 2007.

OLIVEIRA, P. A.; NUNES, M. A. Sustentabilidade ambiental da suinocultura. Concórdia: Embrapa, 2006. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/anais0205\\_oliveira.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0205_oliveira.pdf). Acesso em: 18 de dezembro de 2011.

SÁNCHEZ, M.; GONZÁLEZ, J. L. The fertilizer value of pig slurry. I. Values depending on the type of operation. **Bioresource Technology**, v. 96, p. 1117-1123, 2005.

VALLEJO, A. et al. Comparison of N losses (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O, NO) from surface applied, injected or amended (DCD) pig slurry of an irrigated soil in a Mediterranean climate. **Plant and Soil**, v. 272, p. 313-325, 2005.

VELTHOF, G. L.; MOSQUERA, J. The impact of slurry application technique on nitrous oxide emission from agricultural soils. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, v. 140, p. 298-308, 2011.

YANG, Z. et al. Measurement of ammonia volatilization from a field, in upland Japan, spread with cattle slurry. **Environmental Pollution**, v. 121, p. 463-467, 2003.

ZEBARTH, B. J.; BOTHA, E. J.; REES, H. Rate and time of fertilizer nitrogen application on yield, protein and apparent efficiency of fertilizer nitrogen use of spring wheat. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 87, n. 4, p. 709-718, 2007.