



Revista Brasileira de Ciência do Solo

ISSN: 0100-0683

revista@sbccs.org.br

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Brasil

Schirmann, Janquieli; Aita, Celso; Giacomini, Sandro José; Barbosa Pujol, Stefen; Antônio Giacomini,  
Diego; Gonzatto, Rogério; Olivo, Juliano

**INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS NAS  
CULTURAS DO MILHO E TRIGO**

Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 37, núm. 1, enero-febrero, 2013, pp. 271-280

Sociedade Brasileira de Ciência do Solo  
Viçosa, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180225736006>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

## **Comissão 3.5 - Poluição, remediação do solo e recuperação de áreas degradadas**

# **INIBIDOR DE NITRIFICAÇÃO E APLICAÇÃO PARCELADA DE DEJETOS DE SUÍNOS NAS CULTURAS DO MILHO E TRIGO<sup>(1)</sup>**

**Janquieli Schirmann<sup>(2)</sup>, Celso Aita<sup>(3)</sup>, Sandro José Giacomini<sup>(4)</sup>, Stefen Barbosa Pujol<sup>(5)</sup>,  
Diego Antônio Giacomini<sup>(6)</sup>, Rogério Gonzatto<sup>(7)</sup> & Juliano Olivo<sup>(8)</sup>**

### **RESUMO**

Nas áreas com produção intensiva de suínos, os dejetos líquidos dos animais constituem importante fonte de nitrogênio (N) às culturas; entretanto, esses dejetos são uma das principais causas de poluição do solo, do ar e da água. É preciso buscar estratégias que reduzam as perdas de N desse resíduo orgânico para o ambiente e que melhorem a sua eficiência agronômica, relativa ao fornecimento de N às culturas comerciais. O objetivo deste trabalho 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 e parcelada (1/3 em pré-semeadura e 2/3 em cobertura), com e sem IN. Além desses 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 IN, à base de 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 influenciaram o acúmulo de N e a produtividade do milho e trigo em plantio direto.

**Termos de indexação:** adubação orgânica, dejetos líquidos de suínos, plantio direto, dicianodiamida (DCD).

<sup>(1)</sup> Parte da Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria - UFSM. Recebido para publicação em 07 de fevereiro de 2012 e aprovado em 05 de dezembro de 2012.

<sup>(2)</sup> Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS. Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, CEP 91501-970 Porto Alegre (RS). E-mail: janquieli@hotmail.com

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista de Produtividade em Pesquisa/CNPQ. E-mail: celsoaita@gmail.com

<sup>(4)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista de Produtividade em Pesquisa/CNPQ. E-mail: sjgiacomini@smail.ufsm.br

<sup>(5)</sup> Pós-Doutorando do Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), UFSM, Cidade Universitária. Av. Roraima, 1000, Camobi, CEP 97105-300 Santa Maria (RS). E-mail: stefenpujol@hotmail.com

<sup>(6)</sup> Doutorando do PPGCS, UFSM. E-mail: jrogonzatto@yahoo.com.br

<sup>(7)</sup> Mestrando do PPGCS, UFSM. E-mail: diegogiocomini14@hotmail.com

<sup>(8)</sup> Graduando do Curso de Agronomia, UFSM. E-mail: julianooolivo@yahoo.com.br

**SUMMARY: NITRIFICATION INHIBITOR AND SPLIT APPLICATIONS OF PIG SLURRY TO CORN AND WHEAT**

*In areas of intensive pig production, pig slurry is used as an important nitrogen (N) source of crops, but is also a major cause of soil, air and water pollution. Strategies are required to reduce N losses from this organic material to the environment and to improve the agronomic efficiency as plant N source. The purpose of this study was to evaluate the effect of the use of a nitrification inhibitor (NI) and the split application of pig slurry (PS) on N accumulation and yield of no-till corn and wheat. The treatments consisted of the application of the recommended dose of PS in single and split applications (1/3 at prior to planting and 2/3 side dressed), with and without NI. Aside from these four treatments, one treatment with mineral fertilizer (NPK) recommended for corn and wheat was evaluated and another treatment without IN and fertilizer (control). The NI, containing dicyandiamide (DCD), was mixed with pig slurry, at a dose of 7 kg ha<sup>-1</sup>. The application of PS, prior to planting and after emergence, increased N accumulation and corn and wheat yield, providing similar results to those observed with mineral fertilization recommended for these two crops. The strategies of dividing the application of recommended PS doses to corn and wheat and to use DCD to inhibit nitrification did not affect N accumulation or yield of no-till corn and wheat.*

*Index terms:* organic manure, pig slurry, no-tillage, dicyandiamide (DCD).

## INTRODUÇÃO

A expansão sustentável da suinocultura no sul do Brasil depende de alternativas tecnológicas que minimizem o impacto ambiental negativo provocado pelos dejetos gerados por essa atividade. O alto custo dos fertilizantes manufaturados, as restrições impostas pelos órgãos ambientais atualmente e o teor elevado de nutrientes dos dejetos fazem com que o seu principal destino seja o uso agrícola, como fertilizante das culturas comerciais.

Em razão de o teor elevado de nitrogênio (N) dos dejetos líquidos de suínos e da demanda elevada de N pelas culturas do milho e trigo, essas 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 (Zebbarth 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 ( $\text{CO}_2$ ) (IPCC, 2006). Além disso, a imobilização microbiana do N dos dejetos também pode contribuir para reduzir a 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 para o seu elevado potencial poluidor, relativamente ao N, quando esses são utilizados como fertilizantes. O primeiro aspecto está ligado à dieta altamente proteica 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 ( $\text{O}_2$ ) limita a ação das bactérias nitrificadoras, o que resulta no acúmulo de N na forma amoniacial ( $\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$ ). Ao analisarem diversas amostras de dejetos líquidos de suínos, Mooleki et al. (2002) constaram que 39 a 98 % do N total dos dejetos estavam na forma amoniacial, com valor médio de 60 %. Já o terceiro aspecto a ser destacado é a rápida oxidação desse N amoniacial dos dejetos até  $\text{NO}_3^-$  pelas bactérias nitrificadoras, após sua aplicação no solo (Aita et al., 2007).

Algumas alternativas vêm sendo avaliadas a fim de 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  $\text{NH}_3$  em pelo menos 90 % (Webb et al., 2010), embora essas 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  $\text{N}_2\text{O}$  (Vallejo et al., 2005; Damasceno, 2010), que podem ocorrer tanto durante a nitrificação do N amoniacial 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 dessa em absorver o  $\text{NO}_3^-$  (Subbarao et

al., 2006). Todavia, a manutenção do N dos dejetos de animais na forma amoniacal por mais tempo pode aumentar as perdas de N por volatilização de NH<sub>3</sub> (Zaman et al., 2009; Damasceno, 2010).

O parcelamento da dose recomendada de dejetos, em vez da sua aplicação em dose única antecedendo a semeadura das culturas, também parece ser alternativa promissora para reduzir as 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<sub>3</sub> para a atmosfera. Além disso, nesse estádio de desenvolvimento, as culturas podem absorver maiores quantidades de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> do solo, reduzindo a possibilidade de lixiviação desse ânion, bem como da sua redução para formas gasosas de N por meio 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 estádio de quatro a 12 folhas do milho vem aumentando em relação aos suinocultores de Ontário, Canadá, especialmente naquelas regiões onde a precipitação pluvial excede a evapotranspiração.

Apesar dessas diferentes alternativas, ainda há relativamente poucos trabalhos de pesquisa no Brasil sobre a sua eficácia na redução das emissões gasosas de N e na lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, após o uso agrícola de dejetos de suínos (Damasceno, 2010). Além desses aspectos, é preciso investigar também como essas estratégias influenciam 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 essa 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 NH<sub>3</sub>, além de aumentar a disponibilidade de N e de carbono (C) à população microbiana heterotrófica, o que pode reduzir a quantidade de O<sub>2</sub> disponível e, com isso, favorecer as perdas de N por desnitrificação.

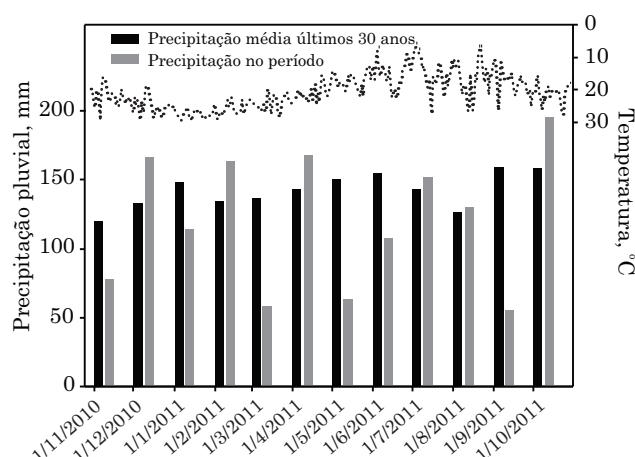
O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de inibidor de nitrificação e da aplicação parcelada de dejetos de suínos como estratégias para melhorar o aproveitamento do N dos dejetos pelas culturas do milho e do trigo, sob condições de plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de maio de 2010 a novembro de 2011 na Universidade Federal de Santa Maria (29° 43' S, 53° 43' O e 105 m de altitude),

RS. O clima do local é subtropical úmido (tipo Cfa2, de acordo com Köppen). O solo do local é classificado como Argissolo Vermelho alumínico úmbrico (Embrapa, 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 Mg ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico, que foi incorporado ao solo pela aração e gradagem. Em junho, foi semeada aveia preta (*Avena strigosa* Schreb) na área, cuja incorporação das sementes no solo foi feita por meio de gradagem leve. Em outubro de 2010, no estádio de florescimento pleno da aveia, essa 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 a coleta de solo na camada 0-0,1 m, que apresentou as seguintes características: teor de matéria orgânica de 2,7%; 7 mg dm<sup>-3</sup> de P; 45 mg dm<sup>-3</sup> de K; pH (H<sub>2</sub>O) de 5,2; densidade do solo de 1,39 g dm<sup>-3</sup>; 398 g kg<sup>-1</sup> de areia; 379 g kg<sup>-1</sup> de silte; e 223 g kg<sup>-1</sup> de argila. As precipitações pluviais mensais 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 apresentadas na figura 1.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso com quatro repetições. Os tratamentos, aplicados em parcelas de 25 m<sup>2</sup> (5 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); e T4- Dls dose parcelada + In (DlsDp +In). Além desses foram avaliados um tratamento (T5) com adubação mineral (NPK) e outro tratamento (T6) testemunha (T), sem adição de fertilizante ou inibidor de nitrificação.



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

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 evidenciadas no quadro 1. A dose de dejetos, tanto na aplicação única quanto na parcelada, foi estabelecida com base na recomendação de adubação orgânica da Comissão de Química e Fertilidade do Solo (CQFSRS/SC, 2004), que considera que 80 % do N total presente nos Dls estarão disponíveis à cultura que sucede à aplicação dos dejetos. O IN 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.

Em 12/11/2010, efetuou-se 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 ha<sup>-1</sup> N) nos tratamentos com dose única e de 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (56 kg ha<sup>-1</sup> N) nos tratamentos com aplicação parcelada. O restante (2/3) da dose parcelada (42 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> = 109,2 kg ha<sup>-1</sup> N) foi aplicado em cobertura, 23 dias após a semeadura do milho, quando esse apresentava cinco folhas verdadeiras. A semeadura do milho (Pioneer 30K 75Y) foi realizada em 23/11/2010, 11 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 ha<sup>-1</sup> N, 115 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 90 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O no momento da semeadura. O restante do N, na forma de ureia, 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. Nos tratamentos em dose única a quantidade foi de 50 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (127 kg ha<sup>-1</sup> N), enquanto na aplicação parcelada foi de 16 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (41 kg ha<sup>-1</sup> N) em pré-semeadura e de 26 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> (104 kg ha<sup>-1</sup> N) 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 ha<sup>-1</sup> N, 65 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 50 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O no tratamento NPK. A aplicação do N em cobertura, na forma de ureia (77 kg ha<sup>-1</sup> N) 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 °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

**Quadro 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 trigo**

Forma de aplicação do dejeto	Dose	Composição do dejeito				Quantidade adicionada				C/N
		MS	C	N total	N amoniacal	MS	C	N total	N amoniacal	
		m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>				
Milho										
Dls dose única <sup>(1)</sup>	60	23	8,5	2,8	2,0	1.380	510	169	120	3,0
Dls dose parcelada										
1 <sup>a</sup> aplicação	20	23	8,5	2,8	2,0	460	170	56	40	3,0
2 <sup>a</sup> aplicação	42	13	3,7	2,6	2,4	563	155	108	99	1,4
Trigo										
Dls dose única	50	13	3,5	2,5	2,1	650	175	127	102	1,4
Dls dose parcelada										
1 <sup>a</sup> aplicação	16	13	3,5	2,5	2,1	208	56	41	33	1,4
2 <sup>a</sup> aplicação	26	29	9,0	4,0	2,7	745	234	104	71	2,3

<sup>(1)</sup> Dls: Dejetos líquidos de suínos.

área de 12,8 m<sup>2</sup>, colhendo-se as plantas de quatro linhas centrais de cada parcela, desprezando-se 0,5 m em cada extremidade. Para o trigo, colheram-se 10 linhas da área útil com 3 m de comprimento, totalizando 5,1 m<sup>2</sup> 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 ureia 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 influenciada pelo N aplicado com os dejetos ou com a ureia (efeito “priming”). Por isso, o valor resultante dessa estimativa é, normalmente, denominado de recuperação “aparente” do N aplicado. A fórmula de cálculo utilizada foi a proposta por Mitchell & Teel (1977):

$$RaN = \frac{[(NAP_f - NAP_{sf})]}{Naf} \times 100$$

em que RaN é recuperação aparente, em %, do N aplicado com dejetos ou ureia; NAP<sub>f</sub>, a quantidade de N acumulado pela planta nos tratamentos com aplicação de fertilizantes (dejetos ou ureia); NAP<sub>sf</sub>, a quantidade de N acumulado pela planta no tratamento sem a aplicação de fertilizantes; e Naf, a quantidade de N aplicada com os dejetos ou ureia.

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 a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 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 (Quadro 2). Apesar de a produtividade de grãos do tratamento-testemunha ter sido inferior ao tratamento com aplicação de fertilizante mineral (NPK) e aos 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 ao círculo de N na palha do milho na maturação da

cultura, os tratamentos apresentaram comportamento semelhante ao observado com a produtividade (Quadro 2).

A resposta relativamente pequena do milho aos tratamentos quanto à produtividade e ao acúmulo de N deve estar relacionada ao histórico da área. Após permanecer em posse por cerca de cinco anos, a área recebeu calagem e foi submetida à aração e gradagem para a 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 N. A expectativa era de que, após a incorporação do calcário ao solo, a implantação da aveia preta em toda a área experimental, antecedendo em seis meses a aplicação dos tratamentos no milho, reduzisse o potencial do solo em fornecer N para essa cultura. Isso era esperado em razão 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 indicaram que ambas as situações não ocorreram na intensidade imaginada, já que a produtividade do milho do tratamento-testemunha, sem a aplicação de fertilizantes, foi superior a 8 Mg ha<sup>-1</sup> (Quadro 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 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 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 (8,1 Mg ha<sup>-1</sup>) relativamente próxima (81 %) ao potencial da cultura para as condições do experimento (10,0 Mg ha<sup>-1</sup> no tratamento DlsDp + IN) indicou 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), observou-se que a diferença entre a maior produtividade de grãos, obtida no tratamento DlsDp + IN, e a menor, do tratamento DlsDu, foi de apenas 11 %. Tais resultados indicaram 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 N, 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, por meio 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 estádio de quatro a seis folhas) foi comparada, 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 Mg ha<sup>-1</sup> de MS (10,4%). Tais situações ocorreram quando as precipitações pluviais 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, no quadro 2, que, em ambas as modalidades de aplicação dos dejetos (dose única x parcelada), houve tendência de melhoria na eficiência dos dejetos nesses 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 observou-se 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 (Quadro 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 deste trabalho, com a altura do milho. No trabalho de Moir et al. (2007), a aplicação de DCD (10 kg ha<sup>-1</sup> em maio e 10 kg ha<sup>-1</sup> em agosto) em uma pastagem com adição de doses elevadas de urina de vacas resultou em aumento médio de 21% na produção da pastagem. 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 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, N<sub>2</sub>O, NO e NH<sub>3</sub>.

### 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, assim como no acúmulo de N pela cultura. Observou-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 Mg ha<sup>-1</sup> na testemunha para 8,12 Mg ha<sup>-1</sup>, na média dos outros cinco tratamentos. Nesse mesmo estádio de desenvolvimento do trigo, o acúmulo de N nas plantas aumentou de 46,1 para 103,6 kg ha<sup>-1</sup>. Quanto à produtividade e ao 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 evidenciaram 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 CQFSRS/SC (2004) está adequada a essa cultura, já que o desempenho dessa nos tratamentos com dejetos foi similar ao observado no tratamento com adubação mineral (NPK).

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

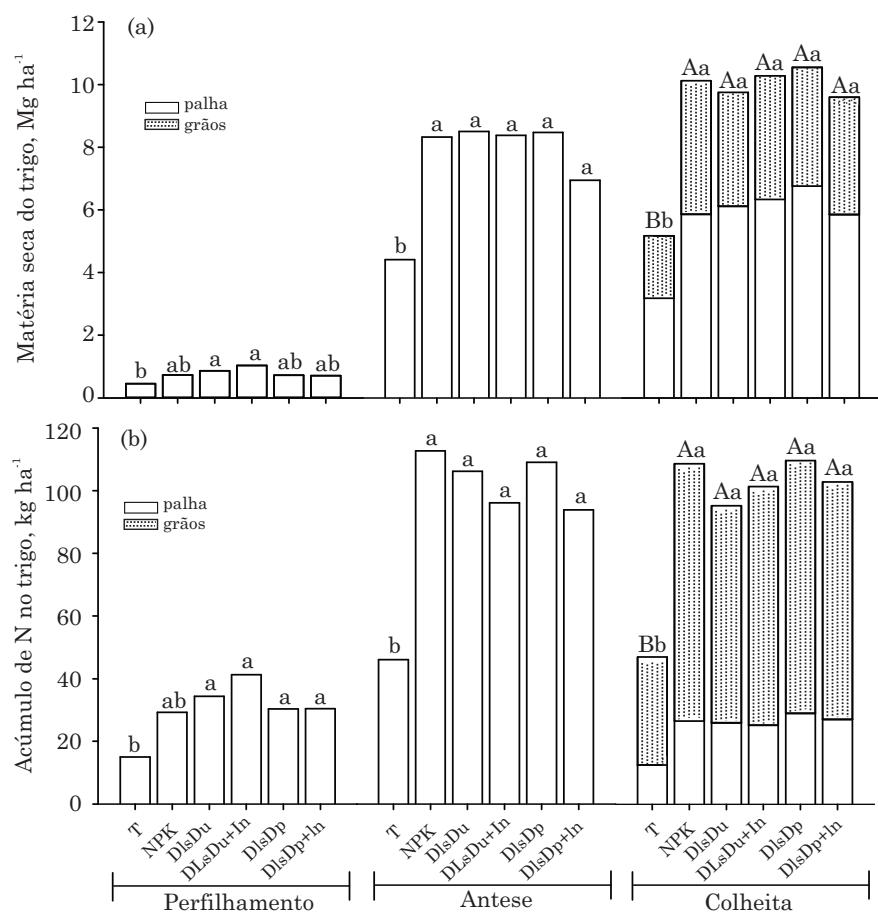
Tratamento <sup>(1)</sup>	Produtividade			Acúmulo de N		
	Palha	Grãos	Palha+grãos	Palha	Grãos	Palha+grãos
	Mg ha <sup>-1</sup>			kg ha <sup>-1</sup>		
Testemunha	9,4 b	8,1 b	17,5 b	49,8 b	106,4 b	156,2 c
NPK	11,9 a	9,7 a	21,6 a	72,9 a	146,2 a	219,1 a
DlsDu	10,5 ab	9,0 ab	19,5 ab	52,1 b	126,0 ab	178,1 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; e Dp: Dose parcelada. Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%.

Quanto à aplicação parcelada dos dejetos de suínos no trigo, observa-se que essa não resultou em aumento no acúmulo de N e na produtividade do trigo, em relação à aplicação dos dejetos em dose única (Figura 2). Comparando o uso do inibidor de nitrificação em cada modalidade de uso dos dejetos (aplicação em dose única ou parcelada), observou-se que esse 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  $\text{NH}_4^+$ , por meio do efeito inibitório da DCD sobre a nitrificação, reduzisse as perdas de N na forma de  $\text{NO}_3^-$  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 dejetos 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  $\text{NO}_3^-$  produzido.



**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. Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra minúscula, em cada época de avaliação, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %. Na colheita, as letras minúsculas comparam a palha e as maiúsculas, os grãos.**

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.

### **Recuperação pelas culturas do milho e do trigo do N aplicado com os dejetos e com a ureia**

Comparando as duas culturas, observou-se que a recuperação do N aplicado, sobretudo do N dos dejetos, foi maior no trigo do que no milho (Quadro 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 média 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.

Uma dificuldade encontrada nos trabalhos com dejetos de animais, principalmente com os dejetos de suínos, refere-se à heterogeneidade temporal na composição desses, como resultado de variações na idade dos animais, no tipo de alimentação e no manejo dado aos próprios dejetos. Observa-se 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, em razão de os dejetos usados na aplicação em cobertura possuírem maior proporção de N amoniacal do que os que foram aplicados em pré-semeadura do milho (Quadro 3). Já 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. Essas não influenciaram a avaliação da eficiência do inibidor, já que esse 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 (DlsDu). 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; no entanto, quando foi adicionado o inibidor de nitrificação a esses (DlsDu + In), no momento da sua aplicação no campo. Essa baixa recuperação do N aplicado com os dejetos no tratamento DlsDu pode ser explicada em razão da possibilidade de terem ocorrido perdas de N na forma de  $\text{NO}_3^-$  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 no 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-ureia aplicada (134 kg ha<sup>-1</sup> N) foi próxima daquela aplicada com os dejetos, com o parcelamento da dose (139 kg ha<sup>-1</sup> N). Todavia, na média dos dois tratamentos com o parcelamento da dose, o milho recuperou 47,0 % do N que foi aplicado com a ureia e apenas 28,9 % do aplicado com os dejetos (Quadro 3). Considerando que tanto a ureia quanto 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 indicou 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 no milho, em relação à ureia. Na cultura do trigo isso não ocorreu, pois foram recuperados 55,1 % do N aplicado com a ureia e 57,0 % do N dos dejetos, na média dos dois tratamentos com parcelamento da dose.

Os índices de recuperação do N da ureia e dos dejetos pelo milho e trigo são bastante variáveis na literatura por causa, 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 % com nitrato de amônio. A maior recuperação de N com adubação mineral do que com dejetos de suínos também foi observada por Seiling (2004); Sørensen & Amato (2002) atribuíram essa menor recuperação do N dos dejetos à imobilização do  $\text{N-NH}_4^+$  durante a decomposição desses logo após a sua adição ao solo.

A aplicação parcelada dos dejetos e o uso de DCD não influenciaram significativamente o teor de proteínas dos grãos do milho e do trigo (Quadro 3). No milho, o teor de proteína dos grãos apresentou comportamento similar ao observado com o acúmulo

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

Tratamento <sup>(1)</sup>	N aplicado		N recuperado		Proteína no grão
	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N total	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N total	
	kg ha <sup>-1</sup>		%		
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
Milho					
Testemunha	-	-	-	-	12,4 b
NPK	-	112	-	55,1 a	13,6 a
DlsDu	102	127	47,3 a	38,0 a	12,8 ab
DlsDu+In	102	127	53,3 a	42,8 a	13,2 ab
DlsDp	104	145	60,3 a	43,2 a	13,1 ab
DlsDp+In	104	145	53,7 a	38,5 a	13,3 ab
CV (%)	-	-	27,9	26,2	3,3
Trigo					

<sup>(1)</sup> Dls: Dejetos líquidos de suínos; In: Inibidor de nitrificação; Du: Dose única; e Dp: Dose parcelada. Médias de tratamentos seguidas pela mesma letra na coluna nas culturas do milho e trigo não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5 %.

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-ureia e dejetos superou o tratamento-testemunha em 30 % (Quadro 2), enquanto no trigo essa diferença foi de 123 % (Figura 2b), esperavam-se maiores diferenças no teor de proteínas dos grãos de trigo dos tratamentos com aplicação de N via ureia e dejetos, em relação à testemunha sem aplicação de N.

Os resultados deste trabalho evidenciaram 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 influenciaram o acúmulo de N e a produtividade das culturas do milho e do trigo em plantio direto. Todavia, além desses atributos ligados às culturas, é preciso incluir em trabalhos futuros a avaliação dos efeitos dessas duas estratégias sobre a qualidade ambiental, com destaque para as emissões para a atmosfera de NH<sub>3</sub> e, principalmente, de N<sub>2</sub>O. Também é interessante avaliar as solos com textura arenosa, onde as perdas de N por lixiviação de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> podem ser significativas e em áreas com maior tempo de adoção do sistema de plantio direto.

## CONCLUSÃO

A aplicação parcelada dos dejetos de suínos e o uso de dicianodiamida (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.

## 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. *R. 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. Fert. Soils*, 29:270-276, 1999.
- BERENGUER, 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.; ROCHELLE, 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.
- COMISSION DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFSRS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 10.ed. Porto Alegre, 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, Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 122p. (Dissertação de Mestrado)
- 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. 2008. *Crop Manage.* J., <http://www.plantmanagementnetwork.org/cm/element/sum2.aspx?id=7077>. Acesso em: 15 de jan. de 2011.
- DI, H.J. & CAMERON, K.C. Sources of nitrous oxide from  $^{15}\text{N}$ -labelled animal urine and urea fertilizer with and without a nitrification inhibitor, dicyandiamide (DCD). *Austr. J. Soil Res.*, 46:76-82, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. Climate change 2007. Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, Cambridge University, 2007. 939p.
- 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. *Agric. 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, pasture yield, nutrient uptake and pasture quality in a grazed pasture system. *Soil Use Manage.*, 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.
- SCHRÖDER, 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  $\text{N}_2\text{O}$  and  $\text{NH}_3$  emissions from anaerobically digested cattle slurry. *Austr. J. Exper. Agric.*, 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 ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , 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. *Agric. 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. Agroecosyst.*, 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.; SCIMIDT, 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.