

# SEÇÃO III - BIOLOGIA DO SOLO

## IMOBILIZAÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIACAL DE DEJETOS LÍQUIDOS DE SUÍNOS EM PLANTIO DIRETO E PREPARO REDUZIDO DO SOLO<sup>(1)</sup>

Sandro José Giacomini<sup>(2)</sup>, Celso Aita<sup>(3)</sup>, Claudia Pozzi Jantalia<sup>(4)</sup>,  
Segundo Urquiaga<sup>(4)</sup> & Gabriel Franceschi dos Santos<sup>(5)</sup>

### RESUMO

No centro-sul do Brasil, é cada vez mais frequente o uso de dejetos líquidos de suínos em solo sob sistema plantio direto, com resíduos culturais de elevada relação C/N. Com o objetivo de avaliar a imobilização do N amoniacal aplicado ao solo com dejetos líquidos de suínos, foram realizados dois experimentos, um em campo e outro em laboratório, ambos em Argissolo Vermelho distrófico arênico. Os tratamentos consistiram da aplicação de dejetos líquidos com ou sem palha de aveia, com (preparo reduzido) ou sem (plantio direto) incorporação no solo. Para quantificar a imobilização do N amoniacal aplicado com os dejetos líquidos, a fração amoniacal foi enriquecida com <sup>15</sup>N. Em campo, a imobilização do N amoniacal foi avaliada em três camadas do solo até a profundidade de 10 cm, durante o ciclo da cultura do milho. Os resultados obtidos nos dois experimentos indicaram que a imobilização do N proveniente da fração amoniacal dos dejetos não foi alterada pela sua incorporação ao solo, mas foi estimulada pela palha de aveia. Quando os dejetos foram aplicados na presença de palha de aveia em campo, a quantidade máxima de N imobilizado atingiu 16 % do N amoniacal aplicado. Quando foram aplicados em solo descoberto, esse valor foi de apenas 11 %. A maior parte do N amoniacal imobilizado após a aplicação dos dejetos líquidos em campo ocorreu durante a fase inicial da decomposição da palha de aveia e na camada superficial do solo. O efeito potencial da palha de aveia sobre a imobilização do N amoniacal dos dejetos, determinado em laboratório foi de 4,2 kg de N para cada Mg de carbono adicionado.

**Termos de indexação:** palha, dejetos suínos, <sup>15</sup>N, resíduos culturais.

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Doutorado do primeiro autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Recebido para publicação em março de 2008 e aprovado em janeiro de 2009.

<sup>(2)</sup> Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. CEP 97105-900 Santa Maria (RS). E-mail: sjgiacomini@smail.ufsm.br

<sup>(3)</sup> Professor Associado do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: caita@ccr.ufsm.br

<sup>(4)</sup> Pesquisador Embrapa Agrobiologia. Caixa Postal 74.505, CEP 23890-000 Seropédica (RJ). Bolsista do CNPq. E-mails: claudia@cnpab.embrapa.br; urquiaga@cnpab.embrapa.br

<sup>(5)</sup> Mestrando do PPG em Ciência do Solo, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: gfragro@gmail.com

**SUMMARY: AMMONIACAL NITROGEN IMMOBILIZATION FROM PIG SLURRY IN SOIL UNDER REDUCED AND NO-TILLAGE**

*The use of pig slurry in no-tillage systems on cultural residues with high C/N ratio is becoming a common practice in the center-south of Brazil. Two experiments were conducted to evaluate the immobilization of ammonium N applied with pig slurry to the soil. One experiment was run in the field and the other in laboratory conditions, both on a Hapludalf soil. The treatments consisted of pig slurry application with and without oat straw, with (reduced tillage) and without (no-tillage) soil incorporation. The ammonium fraction of pig slurry was enriched with  $^{15}\text{N}$  to quantify of this ammoniacal N. In the field ammonium-N immobilization was evaluated during corn growth, in three soil layers down to a depth of 10 cm. The results from the two experiments indicated that N immobilization from the ammonium fraction of pig slurry was not influenced by soil incorporation, but was stimulated by the presence of oat straw. When pig slurry was applied with oat straw in field conditions the maximum amount of immobilized N reached 16 % of the applied ammonium N whereas in fallow soil the value was only 11 %. Immobilized ammonium N was highest after pig slurry application in field conditions during the initial phase of oat straw decomposition and in the surface soil layer. The potential effect of oat straw on ammoniacal N immobilization of the pig slurry evaluated in the laboratory was 4.2 kg N Mg<sup>-3</sup> of carbon added with the straw.*

*Index terms: straw, pig manure,  $^{15}\text{N}$ , swine manure, crop residues.*

## INTRODUÇÃO

Os dejetos líquidos de suínos apresentam de 40 a 70 % do N total na forma amoniacal (Scherer et al., 1996) e, por isso, se forem aplicados ao solo podem representar uma importante fonte de N para as plantas. A aplicação desse fertilizante orgânico ao solo é realizada, normalmente, antecedendo a semeadura das culturas. No solo, parte do N amoniacal deste fertilizante poderá ser perdida por meio da volatilização de amônia, e o restante fica suscetível às transformações microbianas de nitrificação e imobilização (Morvan, 1999). Considerando que o N amoniacal dos dejetos é rapidamente nitrificado (Aita et al., 2007), o  $\text{NO}_3^-$  fica no solo no período em que a demanda de N das plantas é pequena, o que pode potencializar as perdas de  $\text{NO}_3^-$  por lixiviação e, ou, desnitrificação. A magnitude de tais perdas depende das condições climáticas desse período e, principalmente, da intensidade com que o N proveniente da fração amoniacal dos dejetos for imobilizado pela população microbiana do solo. Esse último aspecto é ainda pouco avaliado no Brasil, especialmente em sistema plantio direto, em que os dejetos são aplicados na superfície do solo, sobre resquícios culturais. Considerando que no centro-sul do Brasil a aplicação dos dejetos é feita principalmente, em plantio direto sobre resíduos culturais normalmente pobres em N (alta C/N), é necessário avaliar a magnitude da imobilização microbiana de N no solo durante a decomposição desses materiais orgânicos.

A imobilização de N com a aplicação de dejetos de suínos foi objeto de diversos estudos conduzidos

principalmente em outros países, tanto em laboratório (Flowers & Arnold, 1983; Dendooven et al., 1998; Chadwick et al., 2001), como em campo (Morvan et al., 1997; Almeida, 2000; Chantigny et al., 2004). Em laboratório, Chadwick et al. (2001) verificaram que 8 % da quantidade de N amoniacal aplicada com os dejetos líquidos de suínos foi imobilizada quando foram incorporados e 6 % quando foram deixados na superfície do solo. Aplicando os dejetos de suínos em solo cultivado com *Lolium perenne*, Morvan et al. (1997) verificaram que, do total de N imobilizado nos 27 dias de estudo, a maior parte ocorreu nos primeiros três dias, atingindo 26 % do N amoniacal. Ao incorporarem; na profundidade de 2 a 3 cm de um solo com 210 g kg<sup>-1</sup> de argila, dejetos de suínos, cujo N orgânico e mineral foram enriquecidos com  $^{15}\text{N}$ , Chantigny et al. (2004) verificaram, por meio do enriquecimento do N orgânico do solo, que, logo no primeiro dia após a aplicação dos dejetos, a imobilização de N atingiu 10 % do N total, tendo a máxima imobilização ocorrido aos 14 dias (44 % do N aplicado). Incorporando parcialmente dejetos de suínos, cuja fração amoniacal foi enriquecida com  $^{15}\text{N}$ , em um solo sob cultivo de triticale, Morvan et al. (1996) verificaram que, ao final de 30 dias, a imobilização de N atingiu o valor máximo, correspondente a 23,2 % do N amoniacal aplicado com os dejetos. Um aspecto a ser ressaltado é que, em todos esses trabalhos, os dejetos foram aplicados ao solo na ausência de resíduos culturais.

Em campo, Almeida (2000), avaliando as quantidades de N mineral do solo após a aplicação de dejetos de suínos sobre palha de aveia ou na ausência de palha, não encontrou diferenças entre esses dois

sistemas, indicando a baixa intensidade do processo de imobilização de N em plantio direto. A principal justificativa sugerida pelo autor para esse resultado foi a de que a localização dos resíduos culturais, na superfície do solo, estaria limitando o contato entre os microrganismos do solo e a fonte de C, diminuindo a demanda potencial em N por parte da população microbiana de decompositores. Todavia, conforme enfatizado pelo autor, o fato de não ter sido detectado o efeito da palha sobre a imobilização de N também pode estar ligado à grande variabilidade na distribuição espacial do N mineral no solo.

Uma estratégia que poderá contribuir para quantificar, com maior exatidão, a intensidade da imobilização do N proveniente da fração amoniacal dos dejetos do solo em plantio direto consiste no enriquecimento do N amoniacal dos dejetos com o isótopo  $^{15}\text{N}$ , conforme realizado por Morvan et al. (1997). Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a imobilização do N amoniacal dos dejetos de suínos aplicados ao solo em plantio direto e preparo reduzido do solo e na presença ou ausência de palha de aveia.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Experimento de campo

O trabalho foi realizado no período de outubro de 2002 a janeiro de 2003, na área experimental do Departamento de Solos da UFSM, RS, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf) (Embrapa, 2006). O solo da camada de 0–10 cm apresentava teor de argila de  $150 \text{ g kg}^{-1}$ , valor de pH em água de 5,2, índice SMP de 6,5 e teor de matéria orgânica de  $18 \text{ g kg}^{-1}$ .

Os tratamentos foram dispostos no delineamento de blocos ao acaso com quatro repetições, em esquema fatorial  $2 \times 2$ , com duas condições de uso (solo sem palha e solo com palha de aveia) e duas modalidades de aplicação dos dejetos (incorporado e em superfície). Os tratamentos avaliados foram os seguintes: T1- Solo sem palha + dejetos líquidos de suínos em superfície; T2- Solo sem palha + dejetos líquidos de suínos incorporados; T3- Solo + palha de aveia e dejetos líquidos de suínos em superfície; T4- Solo + palha de aveia e dejetos líquidos de suínos com incorporação. Os dejetos líquidos de suínos foram distribuídos manualmente sobre o solo descoberto (sem palha) e sobre a palha de aveia-preta em 3/11/2002, um dia após o manejo da aveia com rolo-faca. A quantidade aplicada de dejetos líquidos foi equivalente a  $64 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . No tratamento com incorporação, os dejetos foram incorporados ao solo com uma grade de discos 3 h após a sua aplicação, simulando o sistema de preparo reduzido do solo.

No centro das parcelas (5 x 4 m), foram demarcadas microparcelas de 1,8 x 2,0 m, onde foram

aplicados dejetos com a fração amoniacal enriquecida com  $^{15}\text{N}$ . O enriquecimento da fração amoniacal dos dejetos foi realizado pela adição de uma solução de sulfato de amônio com 10 % de átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso. A mistura dos dejetos com a solução enriquecida com  $^{15}\text{N}$  foi realizada em um recipiente plástico, com capacidade para 40 L, vigorosamente agitado no momento da aplicação dos dejetos ao solo. A aplicação e a incorporação ao solo foram realizadas simultaneamente nas microparcelas e nas parcelas principais.

A determinação do pH dos dejetos líquidos foi realizada diretamente em uma alíquota de aproximadamente 60 mL de dejetos (Tedesco et al., 1995). A matéria seca (MS) dos dejetos foi determinada por meio de secagem em estufa de ventilação forçada a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante. Após a moagem dos dejetos secos foi determinado o teor de C orgânico (Tedesco et al., 1995). O N total foi analisado a partir de digestão dos dejetos úmidos e o N amoniacal foi determinado em destilador de arraste a vapor do tipo semimicro Kjeldhal após a adição de óxido de Mg. Essas análises foram realizadas sem a secagem prévia dos dejetos, conforme descrito em Aita et al. (2007). O destilado foi captado em uma solução de  $\text{H}_2\text{SO}_4$   $0,2 \text{ mol L}^{-1}$  e depois titulado com  $\text{NaOH}$   $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . Após a titulação, a solução foi acidificada e submetida à secagem a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ . No precipitado resultante, foi analisado o excesso isotópico de  $^{15}\text{N}$  por espectrometria de massa na Embrapa-Agrobiologia, RJ. Com a adição do  $(^{15}\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , a marcação isotópica com o  $^{15}\text{N}$  da fração amoniacal dos dejetos, quando aplicados no campo, foi de 2,27 % átomos de  $^{15}\text{N}$  em excesso.

A quantidade de palha adicionada ao solo pela aveia foi determinada por ocasião da maturação fisiológica da cultura (30/10/2002). O material coletado foi seco a  $65 \text{ }^\circ\text{C}$ , até peso constante, pesado e, posteriormente, moído e analisado quanto aos teores de N total e C orgânico, conforme Tedesco et al. (1995). As características da palha e dos dejetos, bem como as quantidades adicionadas ao solo, estão apresentadas no quadro 1.

A semeadura do milho (Pioneer 30F 33) foi realizada 5 dias após a aplicação dos dejetos, com semeadora para plantio direto e sem a adição de fertilizantes minerais. O espaçamento entre linhas foi de 0,9 m, perfazendo uma população final de aproximadamente  $55.000 \text{ plantas ha}^{-1}$ .

A avaliação da imobilização de N foi realizada aos 3, 9, 21, 37, 54 e 127 dias após a aplicação dos dejetos. O solo das microparcelas com a aplicação dos dejetos em superfície (plantio direto) foi amostrado nas camadas 0–2,5, 2,5–5,0 e 5,0–10 cm, e nas camadas 0–5,0, e 5,0–10 cm onde os dejetos foram incorporados ao solo (preparo reduzido). A coleta foi realizada com um trado tipo calador, confeccionado a partir de um tubo de PVC com diâmetro de 75 mm. Em cada avaliação, foram retiradas quatro amostras por

microparcela, que, após reunidas, constituíram uma única amostra composta. Os dados de temperatura e precipitação foram obtidos na Estação Meteorológica da UFSM (Quadro 2).

A imobilização de N foi estimada por meio da variação do excesso isotópico de  $^{15}\text{N}$  do N orgânico do solo, conforme método proposto por Recous et al. (1988). O N orgânico foi obtido após a eliminação do N mineral das amostras de solo. Para isso, amostras com 15 g de solo úmido foram colocadas em um tubo de centrífuga de 100 mL, junto com 60 mL de KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e submetidas à agitação por 15 min e posterior centrifugação a 3.000 rpm por 15 min. Após a centrifugação, o sobrenadante foi descartado e o processo foi repetido por mais duas vezes. Ao final, a fração sedimentada foi colocada para secar em estufa a 60 °C e posteriormente moída em almofariz. No material finamente moído, foram determinados os teores de N orgânico (Tedesco et al., 1995) e o seu excesso em  $^{15}\text{N}$  (Marshall & Whiteway, 1985), por espectrometria de massas na Embrapa-Agrobiologia, RJ.

O cálculo da imobilização do N amoniacal dos dejetos foi realizado a partir das seguintes equações:

$$PNpfa = \left(\frac{A}{B}\right) \times 100; \quad Naim = Norg \times Pnpfa; \quad PNaim = \frac{Naim}{NaAd} \times 100$$

sendo *PNpfa* a percentagem do N orgânico do solo proveniente do N amoniacal dos dejetos; *A* e *B* os excessos isotópicos em  $^{15}\text{N}$  do N orgânico do solo e da fração amoniacal dos dejetos, respectivamente; *Naim* a quantidade de N imobilizada proveniente do N amoniacal dos dejetos em kg ha<sup>-1</sup>; *Norg* a quantidade de N orgânico no solo em kg ha<sup>-1</sup>; *PNaim* a percentagem do N amoniacal dos dejetos que foi imobilizado; e *NaAd* é a quantidade de N amoniacal adicionada com os dejetos em kg ha<sup>-1</sup>.

A quantidade de N imobilizado proveniente da fração amoniacal dos dejetos, 1 h após a sua adição ao solo, foi de 2,7 mg kg<sup>-1</sup> de N. Esse valor representa a imobilização físico-química do N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (Recous et al., 1988) e, por isso, para estimar a imobilização biológica de N foi descontado o valor de 2,7 mg kg<sup>-1</sup> de N no

**Quadro 1. Teores e quantidades de matéria seca (MS), carbono e nitrogênio nos dejetos líquidos e na palha de aveia utilizados no experimento de campo e de laboratório**

Material orgânico	MS <sup>(1)</sup>	C	N total	N amoniacal	N orgânico	C/N	pH H <sub>2</sub> O
g kg <sup>-1</sup>							
Palha de aveia <sup>(2)</sup>	—	425,3	10,40	—	—	40,9	—
Palha de aveia <sup>(3)</sup>	—	432,1	9,30	—	—	46,5	—
Dejetos líquidos	46	9,7	2,53	1,24	1,29	3,8	7,9
Experimento de campo (kg ha <sup>-1</sup> )							
Palha de aveia	3.600	1.531	37	—	—	—	—
Dejetos líquidos	2.925	617	161	78,9	82,1	—	—
Experimento de laboratório (mg kg <sup>-1</sup> de solo)							
Palha de aveia	7.000	3.025	65,1	—	—	—	—
Dejetos líquidos	2.217	468	122,0	60,0	61,9	—	—

<sup>(1)</sup> Os valores de MS, C e N dos dejetos líquidos referem-se à base úmida. <sup>(2)</sup> Palha de aveia utilizada no experimento de campo.

<sup>(3)</sup> Palha de aveia utilizada no experimento de laboratório.

**Quadro 2. Temperatura média e precipitação pluvial acumulada observadas em cada intervalo de coleta de solo, após a aplicação dos dejetos em campo**

Coleta	Intervalo entre coletas <sup>(1)</sup>	Precipitação	Temperatura média	
			Mínima	Máxima
°C				
1	0–3	38,6	13,9	24,7
2	4–9	45,9	14,5	26,5
3	10–21	102,2	19,5	29,9
4	22–37	177,5	19,6	27,3
5	38–54	108,6	18,4	30,2
6	55–127	542,6	20,9	31,2

<sup>(1)</sup> Cada intervalo refere-se ao número de dias decorridos após a aplicação dos dejetos no campo.

solo dos valores de imobilização total obtidos nas avaliações realizadas.

### Estudo de Laboratório

O solo utilizado foi coletado na camada 0–10 cm no experimento do estudo de campo, retirando-se os resíduos culturais remanescentes da aveia e do milho. No laboratório, o solo foi inicialmente peneirado (4 mm) para a remoção dos resíduos culturais e depois armazenado em sacos plásticos, em temperatura ambiente, por 13 dias até o momento da incubação.

A palha de aveia e os dejetos líquidos de suínos utilizados foram os mesmos provenientes do experimento realizado em campo. A coleta da palha de aveia foi realizada em 30/10/02, quando se encontrava no estádio de maturação fisiológica. O material coletado foi submetido à secagem ao ar e posteriormente armazenado em lugar seco até o momento da incubação (30/05/2003). Antes da incubação, os grãos de aveia foram descartados e os colmos e as folhas foram cortados em pedaços de 1 a 2 cm.

Os tratamentos avaliados foram os mesmos utilizados no experimento de campo e o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com três repetições. Cada unidade experimental foi constituída de um recipiente cilíndrico de acrílico, com 6,0 cm de altura e 5,2 cm de diâmetro interno, sendo colocados 92,6 g de solo úmido (85,0 g solo seco a 105,0 °C), cuja umidade foi elevada à capacidade de campo. A altura da camada de solo dentro de cada recipiente foi de aproximadamente 5 cm. A quantidade de palha de aveia e de dejetos líquidos adicionada em cada frasco foi de 595 mg e 4,1 mL, respectivamente. Tais quantidades, considerando a área do recipiente de acrílico, equivalem a uma aplicação desses materiais ao solo de 2,8 Mg ha<sup>-1</sup> e 19,3 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Antecedendo a incubação, a palha foi umedecida com água destilada na proporção de 3 mL g<sup>-1</sup> de palha. A quantidade de palha adicionada nos frascos foi estabelecida a fim de proporcionar uma adição de C próxima àquela observada em campo. No caso dos dejetos líquidos, a quantidade adicionada foi estabelecida com a finalidade de evitar a saturação do solo pela fração líquida deles, além de proporcionar uma adição de N mineral de 60 mg kg<sup>-1</sup> de solo, que, segundo Recous et al. (1995), asseguram uma condição não limitante de N à decomposição de palhas de cereais. Esse valor de N mineral é próximo de 56 mg kg<sup>-1</sup> estimado para o solo da camada de 0–10 cm em campo após a aplicação dos 78,9 kg ha<sup>-1</sup> de N amoniacal com os dejetos, que indica que, embora as doses de dejetos tenham diferido entre o laboratório e o campo, as concentrações de N mineral no solo foram próximas. As características da palha de aveia e dos dejetos, bem como as quantidades adicionadas ao solo, estão apresentadas no quadro 1.

Todas as unidades experimentais foram montadas separadamente. Nos tratamentos em que a palha e

os dejetos líquidos foram colocados na superfície do solo, adicionaram-se, em cada frasco de acrílico, 46,3 g de solo e, após, 3,0 mL de água. Em seguida, adicionou-se o restante do solo (46,3 g) e, na superfície deste, foram colocados a palha e os 4,1 mL de dejetos líquidos conforme os diferentes tratamentos. Nos tratamentos com incorporação, o solo foi adicionado ao frasco de uma só vez (92,6 g) e após foram adicionados 3,0 mL de água e 4,1 mL de dejetos líquidos. No tratamento com palha, ela foi misturada ao solo após terem sido adicionados a água e os dejetos. A mistura do solo úmido com os materiais orgânicos foi realizada manualmente com auxílio de espátula.

Foram montadas 60 unidades experimentais (4 tratamentos x 3 repetições x 5 datas de avaliação), que foram acondicionadas no interior de frascos de vidro com capacidade de 600 mL. Em cada avaliação, eram analisadas as três repetições de cada um dos quatro tratamentos. Os tratamentos foram mantidos em incubadora na ausência de luz, em temperatura de 25 °C ± 0,3 °C. Para evitar que a deficiência de O<sub>2</sub> limitasse a decomposição aeróbia dos materiais orgânicos, os frascos foram periodicamente abertos durante 15 min para aeração. A umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo pela pesagem dos frascos e, quando necessário, foi adicionada água com auxílio de uma pipeta na superfície do solo e dos resíduos orgânicos.

A imobilização do N proveniente da fração amoniacal dos dejetos líquidos de suínos foi determinada aos 5, 10, 20, 30 e 50 dias após o início da incubação. O método para a determinação da imobilização foi o mesmo utilizado para o experimento de campo.

Os dados obtidos nos experimentos de campo e de laboratório foram submetidos à análise da variância, sendo testada a interação entre os dois fatores avaliados (condição de uso e modalidades de aplicação dos dejetos). Quando não houve interação significativa entre os fatores avaliados sobre a quantidade de N imobilizada, os efeitos principais dos fatores foram analisados separadamente, comparando-se as médias de tratamentos pelo teste de Tukey, a 5 %.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

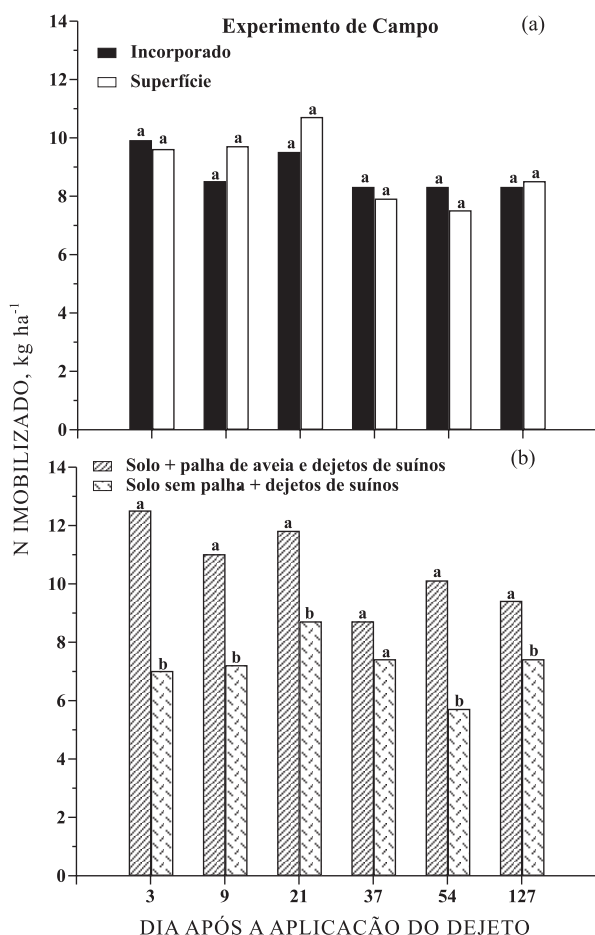
Nos dois estudos, não houve interação entre condições de uso (solo sem palha e solo com palha de aveia) e modalidades de aplicação dos dejetos (incorporado e superfície) sobre a imobilização do N amoniacal presente inicialmente nos dejetos líquidos de suínos.

### Imobilização do N amoniacal dos dejetos

A quantidade de N amoniacal dos dejetos que foi imobilizada, na média das duas condições de uso dos

dejetos (com ou sem palha), em cada modalidade de aplicação, não diferiu em nenhuma das avaliações realizadas, indicando que a incorporação dos dejetos ao solo não resultou em maior imobilização de N amoniacal, em relação a sua manutenção na superfície do solo (Figura 1a).

A presença da palha de aveia, independente da modalidade de aplicação dos dejetos (com ou sem incorporação), resultou em aumento na imobilização do N proveniente da fração amoniacal em relação ao tratamento com o solo sem palha (Figura 1b). Na primeira avaliação, realizada três dias após a aplicação dos dejetos ao solo, a quantidade de N imobilizada, na média das modalidades de aplicação, atingiu valores de 12,5 kg ha<sup>-1</sup> (15,8 % do N amoniacal aplicado) no tratamento com palha de aveia e de 7,0 kg ha<sup>-1</sup> (8,8 % do N amoniacal aplicado) no tratamento sem palha.



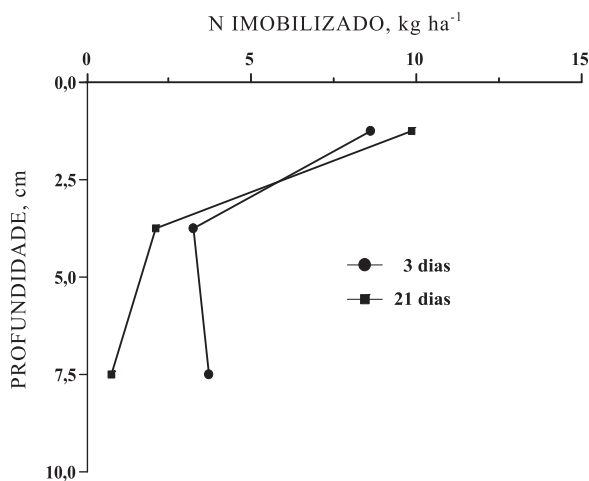
**Figura 1. Quantidade de N imobilizado na camada de 0–10 cm, derivado do N amoniacal aplicado com os dejetos líquidos de suínos na superfície ou incorporados ao solo (a), com ou sem palha de aveia (b). Valores seguidos da mesma letra em cada data de avaliação não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey, a 5%.**

A quantidade de N imobilizada variou pouco entre as seis avaliações realizadas, com um valor médio de 10,6 kg ha<sup>-1</sup> no solo com palha e de 7,2 kg ha<sup>-1</sup> no solo sem palha.

Observou-se que, mesmo na ausência de palha no solo, a aplicação dos dejetos resultou na imobilização de N, variando de 5,7 a 8,7 kg ha<sup>-1</sup>, o que corresponde a 7,2–11,0 % do N amoniacal aplicado (Figura 1b). Tais valores de imobilização de N são inferiores àqueles determinados por Morvan et al. (1996, 1997) e Chantigny et al. (2004) ao incorporarem os dejetos ao solo, em campo. A ocorrência de imobilização de N após a aplicação dos dejetos de suínos ao solo tem sido relatada em diversos trabalhos, sendo atribuída à rápida decomposição de alguns compostos orgânicos presentes nos dejetos (Flowers & Arnold, 1983; Kirchmann & Lundvall, 1993; Dendooven et al., 1998; Chadwick et al., 2001). Segundo Dendooven et al. (1998), essa imobilização inicial de N no solo está relacionada à decomposição de ácidos graxos voláteis (acetato, butirato e propionato) gerados durante a fermentação dos dejetos durante o seu armazenamento em esterqueira anaeróbica.

A imobilização do N amoniacal dos dejetos ocorreu principalmente na camada mais superficial do solo (Figura 2) nas avaliações realizadas aos três e 21 dias após a aplicação dos dejetos na superfície do solo. Considerando a avaliação realizada aos três dias, verifica-se que 75 % da quantidade total de N imobilizada na camada de 0–10 cm ocorreu na camada 0–2,5 cm. Este resultado deve estar relacionado ao fato de na camada superficial haver maior biomassa microbiana em razão da maior disponibilidade de C e nutrientes. Nessa mesma data de avaliação, na média dos tratamentos com incorporação, 87 % da imobilização de N da camada 0–10 cm ocorreu nos primeiros 5 cm (dados não mostrados). Isso pode ter sido causado porque a incorporação dos materiais orgânicos ao solo foi realizada com gradagem leve, o que proporcionou uma incorporação superficial dos mesmos ao solo (entre 0 e 7 cm).

Neste trabalho, a incorporação conjunta da palha de aveia e dos dejetos não aumentou a imobilização de N, em relação à manutenção dos materiais orgânicos na superfície do solo (Figuras 1a e 3a). Isso contraria a hipótese de que, com o maior contato entre o C da palha de aveia e o N mineral dos dejetos a população microbiana do solo seria favorecida acarretando maior decomposição da palha de aveia e, conseqüentemente, aumento da imobilização de N. No entanto, alguns autores, entre eles Bedding & Turner (1999), demonstram que o efeito do grau de contato entre os resíduos culturais e o solo sobre a decomposição dos materiais orgânicos e a magnitude da imobilização de N depende, principalmente, da relação C/N do material orgânico adicionado ao solo. Quanto menor sua concentração em N (elevada C/N), maior será a influência do contato sobre a imobilização de N. Dessa forma, pode-se inferir que a relação C/N de 40,9 da



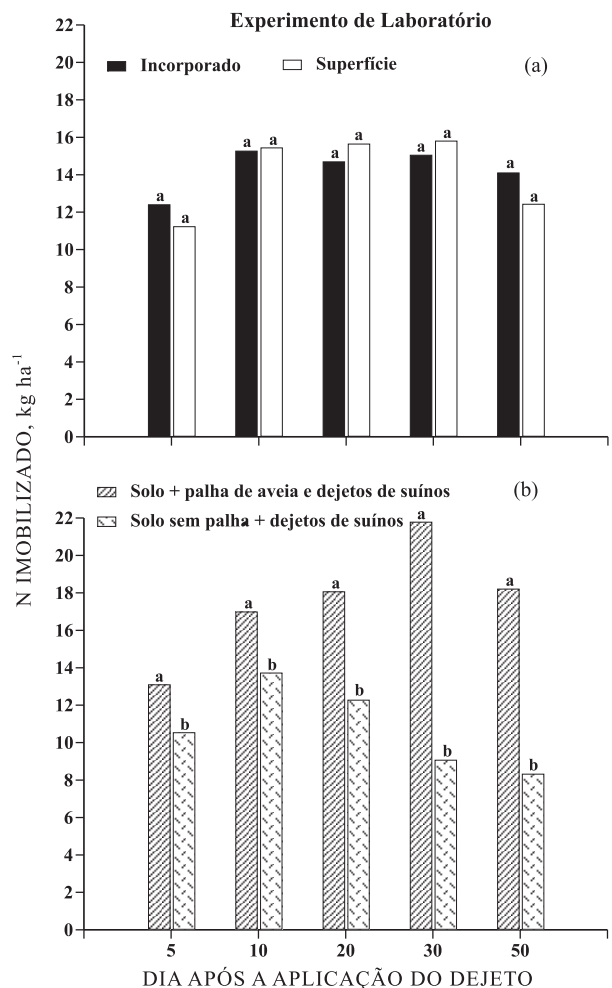
**Figura 2.** Distribuição da quantidade de N imobilizado na camada de 0-10 cm, nas avaliações realizadas aos 3 e 21 dias após a aplicação dos dejetos líquidos de suínos na superfície do solo com palha de aveia.

palha utilizada neste trabalho (Quadro 1) não foi suficientemente elevada para que sua incorporação ao solo favorecesse o processo de imobilização de N. A ocorrência de chuvas logo após a aplicação dos dejetos ao campo (Quadro 2) também pode ter transferido parte do N amoniacal aplicado para camadas mais profundas do solo, diminuindo a disponibilidade de N nos locais de decomposição mais intensa da palha, limitando, portanto, a imobilização de N. Além disso, após essa fase inicial, a oxidação do N amoniacal dos dejetos para nitrato, aliada à ocorrência de chuvas, pode ter favorecido a saída dessa forma de N dos sítios de decomposição, através da percolação de nitrato no perfil do solo e da sua redução para formas gasosas de N no processo de desnitrificação. Assim, pode-se inferir que a quantidade de N imobilizada após a aplicação dos dejetos de suínos em sistema plantio direto depende também do tempo entre a aplicação dos dejetos e a ocorrência dos primeiros eventos pluviométricos, bem como da sua intensidade.

**Imobilização microbiana do N amoniacal dos dejetos em laboratório**

Como ocorreu no campo, a quantidade de N imobilizada também não foi alterada pela modalidade de aplicação dos dejetos em nenhuma das avaliações realizadas em laboratório (Figura 3). No campo, tais resultados foram atribuídos ao valor não tão elevado da relação C/N da palha (40,9) e à possível saída do N amoniacal dos sítios de decomposição. Considerando que o dispositivo experimental empregado no estudo de laboratório manteve junto da palha o N amoniacal aplicado, é possível inferir que a relação C/N da palha, de 46,5, também não foi suficientemente elevada para que sua incorporação favorecesse a imobilização de N.

Conforme observado no experimento de campo, a imobilização de N proveniente da fração amoniacal dos dejetos também foi rápida no laboratório. Ao final dos primeiros cinco dias de incubação e na média das duas modalidades de aplicação dos dejetos, a quantidade de N imobilizado atingiu 10,5 mg kg<sup>-1</sup> de solo (17,5 % do N amoniacal aplicado) com o uso exclusivo de dejetos e 13,1 mg kg<sup>-1</sup> de solo (21,2 % do N amoniacal aplicado) com a aplicação conjunta de palha e dejetos (Figura 3b). O período em que ocorreu a máxima imobilização de N amoniacal variou em razão da presença ou não da palha de aveia. Nos tratamentos em que os dejetos foram aplicados sem palha, a imobilização máxima de N, de 13,7 mg kg<sup>-1</sup> de solo (22 % do N amoniacal aplicado), ocorreu aos 10 dias após a incubação, enquanto na presença da palha a maior quantidade de N imobilizada foi observada aos 30 dias, quando 35 % do N amoniacal



**Figura 3.** Quantidade de N imobilizado em laboratório, derivado do N amoniacal aplicado com os dejetos líquidos de suínos na superfície ou incorporados ao solo (a), com ou sem palha de aveia (b). Valores seguidos da mesma letra em cada data de avaliação não apresentam diferenças significativas entre si pelo teste de Tukey, a 5%.



dos dejetos foram imobilizados ( $21,8 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo) (Figura 3b). Em laboratório, Morvan (1999) verificou que, 24 dias após o aporte dos dejetos, a proporção do N amoniacal imobilizada foi de 23 %.

A imobilização de N durante a decomposição de palhas de cereais, sobretudo em solos com a adição de N mineral e em laboratório, é relatada em inúmeros trabalhos (Recous et al., 1995; Herinksen & Breland, 1999; Corbeells et al., 2000). Ao adicionarem palha de milho (C/N = 130) a um solo cuja concentração de N mineral era de  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de N, Recous et al. (1995) encontraram uma imobilização líquida de N de  $23 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Nesse mesmo trabalho, quando a disponibilidade de N no solo foi aumentada para  $60 \text{ mg kg}^{-1}$ , a imobilização de N atingiu  $55 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. Com a adição de palha de trigo (C/N = 67) a um solo contendo  $67 \text{ mg kg}^{-1}$  N mineral, Corbeells et al. (2000) constataram que a imobilização de N foi de  $34 \text{ mg kg}^{-1}$  de solo. A maior quantidade de N imobilizada nesses estudos, em relação à deste trabalho, deve-se a dois fatores principais: as palhas apresentavam maior relação C/N e as mesmas eram finamente moídas antes de serem incorporadas ao solo. Nessas condições, a decomposição e a imobilização de N são potencializadas, conforme comprovado por Bedding & Turner (1999), que, ao incorporarem ao solo palha de trigo com relação C/N de 91, verificaram que a moagem da palha provocou um aumento na imobilização de N em relação à palha picada, de 55 e 17 % nas avaliações realizadas aos 28 e 168 dias após o início da incubação, respectivamente.

### Efeito da palha de aveia sobre a imobilização do N amoniacal dos dejetos

Nos tratamentos com palha, a imobilização do N amoniacal dos dejetos pode ser atribuída ao efeito conjunto da palha de aveia e dos dejetos de suínos. Admitindo que a imobilização de N provocada pela fração decomponível dos dejetos tenha sido semelhante entre os tratamentos com ou sem palha de aveia, pode-se considerar que a diferença entre esses tratamentos na quantidade de N imobilizada corresponde ao efeito isolado da palha. Assim, na média das avaliações realizadas no experimento de campo, a palha provocou uma imobilização de  $3,4 \text{ kg ha}^{-1}$  de N, sendo que a imobilização foi maior na fase inicial atingindo  $5,5 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (Figura 1b). Já no experimento de laboratório, o aumento médio na imobilização de N, em razão da presença da palha de aveia, foi de  $6,8 \text{ mg kg}^{-1}$ , com valor máximo de  $12,7 \text{ mg kg}^{-1}$  aos 30 dias após o início da incubação.

Na média das avaliações realizadas no experimento de campo, para cada Mg de C adicionado com a palha de aveia foram imobilizados  $2,4 \text{ kg}$  de N, com valores variando de  $0,8$  a  $3,6 \text{ kg}$  de N (Figura 4). Em laboratório, o valor médio de N imobilizado para cada Mg de C adicionado foi de  $2,3 \text{ kg}$ , variando de  $0,8$  a  $4,2 \text{ kg}$ . Embora a quantidade de N imobilizada por Mg de C adicionada tenha sido semelhante entre os

estudos de campo e de laboratório, observa-se que a cinética de imobilização deferiu nas duas situações. Enquanto a quantidade máxima de N imobilizada no experimento de campo ocorreu aos três dias depois da aplicação dos dejetos ao solo, no experimento de laboratório o valor máximo foi atingido somente aos 30 dias. Tais diferenças podem ser atribuídas ao fato de que, no campo, com a ocorrência de chuvas (Quadro 2), o N amoniacal aplicado com os dejetos saiu logo da região de decomposição ativa da palha. Já em laboratório, por não haver fluxo de água no solo, o N aplicado com os dejetos permaneceu junto aos sítios de decomposição, sendo imobilizado em razão das necessidades da população microbiana atuante na decomposição da palha de aveia. Além disso, no laboratório as condições de incubação reduzem as perdas de N por volatilização de amônia, mantendo maior quantidade de N mineral no solo e favorecendo o processo de imobilização de N.

A relação entre a quantidade de N imobilizada e a quantidade de C adicionada é alterada por diversos fatores com destaque para a disponibilidade de N mineral no solo e para o tipo de material vegetal em decomposição. No trabalho de Corbeells et al. (2000), foram encontrados valores de imobilização de N de  $30$  e  $13,4 \text{ kg Mg}^{-1}$  de C adicionado ao solo com uma palha de trigo (C/N = 67), com ou sem a adição de N, respectivamente. Adicionando ao solo uma palha de milho com relação C/N de 130, Recous et al. (1995) observaram uma imobilização de N de  $31 \text{ kg Mg}^{-1}$  de C adicionado. Em campo, a adição ao solo de  $8 \text{ Mg ha}^{-1}$  de palha de trigo com relação C/N de 125 por Darwis (1993) resultou na imobilização de N de  $12,2 \text{ kg Mg}^{-1}$  de C adicionado ao solo com a palha, sem o uso de fertilização nitrogenada, e de  $24,3 \text{ kg Mg}^{-1}$  de C adicionado quando foram aplicados  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  de N. Empregando o mesmo método deste trabalho para quantificar a imobilização de N, Da Ros (2004) verificou que a palha de aveia (C/N = 36) mantida na

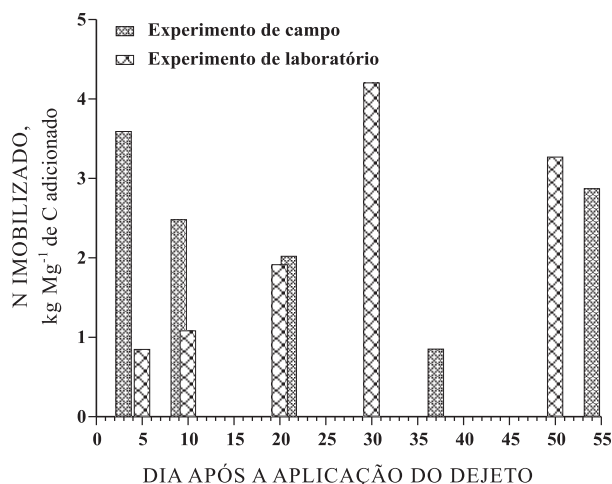


Figura 4. Quantidade de N imobilizado para cada Mg de C adicionada com palha de aveia em campo e em laboratório.



superfície do solo (plantio direto) provocou uma imobilização de N-uréia de 5,4 kg Mg<sup>-1</sup> de C adicionado ao solo com a palha.

Os resultados obtidos neste trabalho indicam que a magnitude do processo microbiano de imobilização de N está muito aquém dos valores encontrados na maioria dos trabalhos realizados com resíduos culturais de cereais em outros países. Algumas inferências podem ser feitas na tentativa de justificar esses menores valores de imobilização de N. Com relação ao estudo de laboratório, é provável que a menor imobilização de N esteja ligada principalmente à menor relação C/N da palha de aveia. A quantidade de N na palha pode ter ficado próxima da necessidade de N dos microrganismos, em relação à quantidade de C disponível. Já para o estudo de campo, além da menor relação C/N dos resíduos culturais, a ocorrência de chuvas pode ter transportado o N mineral para além da camada onde estava ocorrendo a decomposição, diminuindo dessa forma a imobilização do N aplicado com os dejetos.

É importante destacar que, neste trabalho, a quantidade de N imobilizada foi avaliada por meio do enriquecimento da fração orgânica do solo pelo <sup>15</sup>N adicionado com a fração amoniacal dos dejetos. Dessa forma, as quantidades imobilizadas de N referem-se apenas à imobilização do N amoniacal dos dejetos, não sendo considerada a imobilização do N mineral presente no solo, proveniente da mineralização do N orgânico dos dejetos e da matéria orgânica do solo.

Nas condições deste trabalho, a imobilização do N proveniente da fração amoniacal dos dejetos não foi alterada pela sua incorporação ao solo, mas foi estimulada pela palha de aveia. Quando os dejetos foram aplicados conjuntamente com a palha de aveia em campo, a quantidade máxima de N imobilizado foi observada aos três dias e atingiu 16 % do N amoniacal aplicado. Nesse mesmo período quando os dejetos foram aplicados isoladamente, esse valor foi de 9 %. Já em laboratório, nessas mesmas condições, a quantidade máxima de N imobilizado ocorreu aos 30 dias após a aplicação dos dejetos e atingiu 36 e 15 %, respectivamente. Esses resultados evidenciam a importância de realizar a aplicação de dejetos líquidos de suínos sobre resíduos culturais pobres em N como uma estratégia para favorecer a imobilização do N amoniacal aplicado, diminuindo o potencial de perdas dessa fração de N após a sua aplicação ao solo.

## CONCLUSÕES

1. A imobilização do N proveniente da fração amoniacal dos dejetos não foi alterada pela incorporação ao solo, mas foi estimulada pela palha de aveia.

2. O potencial da palha de aveia em causar imobilização do N amoniacal dos dejetos foi de 4,2 kg de N para cada Mg de C adicionado com a palha.

3. A maior parte do N amoniacal imobilizado deve-se à decomposição do C aplicado com os dejetos líquidos de suínos.

4. A imobilização do N amoniacal após a aplicação dos dejetos líquidos de suínos em campo ocorre principalmente durante a fase inicial da decomposição da palha de aveia e na camada superficial do solo.

## 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.
- ALMEIDA, A.C.R. Uso associado de esterco líquido de suínos e plantas de cobertura de solo na cultura do milho. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2000. 114p. (Tese de Mestrado)
- BENDING, G.D. & TURNER, M.K. Interaction of biochemical quality and particle size of crop residues and its effects on the microbial biomass and nitrogen dynamics following incorporation into soil. *Biol. Fert. Soils*, 29:319-327, 1999.
- CHADWICK, D.R.; MARTINEZ, J.; MAROL, C. & BELINE, F. Nitrogen transformations and ammonia loss following injection and surface application of pig slurry: A laboratory experiment using slurry labeled with <sup>15</sup>N-ammonium. *J. Agric. Sc.*, 136:231-240, 2001.
- CHANTIGNY, M.H.; ANGERS, D.A.; MORVAN, T. & POMAR, C. Dynamics of pig slurry nitrogen in soil and plant as determined with <sup>15</sup>N. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:637-643, 2004.
- CORBEELS, M.; HOFMAN, G. & CLEEMPUT, O.V. Nitrogen cycling associated with the decomposition of sunflower stalks and wheat straw in a Vertisol. *Plant Soil*, 218:71-82, 2000.
- DA ROS, C.O. Dinâmica do carbono e do nitrogênio com o uso de uréia, na sucessão aveia-preta/milho, no sistema plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 151p. (Tese de Doutorado)
- DARWIS, D. Effet des modalités de gestion de la paille de blé sur l'évolution du carbone et l'azote au cours de sa décomposition dans le sol. Paris, Université Paris 6, Sciences de la Terre, 1993. 196p. (Tese de Doutorado)
- DENDOOVEN, L.; BONHOMME, E.; MERCKX, R. & VLASSAK, K. Injection of pig slurry and its effects on dynamics of nitrogen and carbon in a loamy soil under laboratory conditions. *Biol. Fert. Soils*, 27:5-8, 1998.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2006. 306p.
- FLOWERS, T.H. & ARNOLD, P.W. Immobilization and mineralization of nitrogen in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *J. Environ. Quality*, 15:329-335, 1983.

- HENRIKSEN, T.M. & BRELAND, T.A. Nitrogen availability effects on carbon during fungal and bacterial growth, and enzyme activity during decomposition of wheat in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 31:1121-1134, 1999.
- KIRCHMANN, H. & LUNDVALL, A. Relationships between N immobilization and volatile fatty acids in soil after application of pig and cattle slurry. *Biol. Fert. Soils*, 15:161-164, 1993.
- MARSHALL, R.B. & WHITEWAY, J.N. Automation of interface between a nitrogen analyser and an isotope ratio mass spectrometer. *Analyst*, 110:867-871, 1985.
- MORVAN, T. Quantification et modélisation des flux d'azote résultant de l'épandage de lisier. Paris, Université Paris 6, 1999. 157p. (Tese de Doutorado).
- MORVAN, T.; LETERME, P. & MARY, B. Quantification des flux d'azote consécutifs à un épandage de lisier de porc sur triticale en automne par marquage isotopique  $^{15}\text{N}$ . *Agronomie*, 16:541-552, 1996.
- MORVAN, T.; LETERME, P.; ARSENE, G.G. & MARY, B. Nitrogen transformations after the spreading of pig slurry on bare soil and ryegrass using  $^{15}\text{N}$ -labelled ammonium. *Eur. J. Agron.*, 7:181-188, 1997.
- RECOUS, S.; FRESNEAU, C. & MARY, B. The fate of labelled  $^{15}\text{N}$  urea and ammonium nitrate applied to a winter wheat crop. *Plant Soil*, 112:205-214, 1988.
- RECOUS, S.; ROBIN, D.; DARWIS, D. & MARY, B. Soil inorganic N availability: Effect on maize residue decomposition. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1529-1538, 1995.
- SCHERER, E.E.; AITA, C. & BALDISSERA, I.T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos da região Oeste Catarinense para fins de utilização como fertilizante. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1996. 46p. (Boletim Técnico, 79)
- 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.