

# SEÇÃO VI - MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA

## DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SOLO E PRODUÇÃO DE FITOMASSA POR PLANTAS DE COBERTURA NO OUTONO/INVERNO COM O USO DE DEJETOS DE SUÍNOS<sup>(1)</sup>

Celso Aita<sup>(2)</sup>, Odair Port<sup>(3)</sup> & Sandro José Giacomini<sup>(2)</sup>

### RESUMO

O uso de dejetos de suínos que antecede a instalação das plantas de cobertura de solo no outono/inverno é uma prática cada vez mais freqüente na região Sul do Brasil, cujos efeitos no solo e nas plantas são ainda pouco avaliados pela pesquisa. O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do N no solo e a produção de plantas de cobertura com o uso de dejetos de suínos no outono/inverno. O trabalho foi desenvolvido durante o ano agrícola de 2000, em área experimental do Departamento de Solos da UFSM, RS. O delineamento experimental foi de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições. As parcelas foram constituídas por aveia preta, pelo consórcio de aveia preta (30 %) + ervilhaca comum (70 %) e pela vegetação espontânea da área (pousio). Nas subparcelas, foram aplicadas quatro doses de dejetos de suínos (0, 20, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). No solo, foram avaliados, em sete datas, os teores de N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) nas camadas de 0-5, 5-15, 15-30 e 30-60 cm. Nas plantas de cobertura e na vegetação espontânea, avaliaram-se a produção de matéria seca e a sua concentração em N, P e K. A quantidade de N mineral do solo aumentou com a aplicação de dejetos líquidos, não tendo a dinâmica do N diferido entre aplicar os dejetos sobre os resíduos culturais remanescentes de aveia/milho ou sobre aqueles da vegetação espontânea/milho. Na dose de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos, houve evidências de perda de

---

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do segundo autor, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Pesquisa parcialmente financiada com recursos da FAPERGS e do Pronex-CNPq/FINEP. Recebido para publicação em dezembro de 2004 e aprovado em agosto de 2006.

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

<sup>(3)</sup> Engenheiro-Agrônomo, MSc. em Agronomia, UFSM. E-mail: a2060368@alunop.ufsm.br

$\text{N-NO}_3^-$  por lixiviação, para além da profundidade de 60 cm, sendo maiores no sistema vegetação espontânea/milho do que no sistema aveia/milho. Com o uso dos dejetos, aumentou a produção de matéria seca, bem como o acúmulo de N, P e K nas plantas de cobertura. Na aveia solteira, o aumento na produção de matéria seca decorrente do uso de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos, em relação ao tratamento sem dejetos, foi de  $2,7 \text{ t ha}^{-1}$ . No consórcio de aveia + ervilhaca, o aumento na quantidade aplicada de dejetos favoreceu o crescimento da aveia em detrimento da ervilhaca, ocorrendo o melhor equilíbrio entre a produção de fitomassa e a adição de N na dose de  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos. Os resultados deste estudo evidenciam a eficiência das plantas de cobertura no outono/inverno em ciclar nutrientes fornecidos pelos dejetos de suínos e a importância da utilização de espécies com elevado potencial de produção de matéria seca e que sejam exigentes em N.

**Termos de indexação:** ciclagem de nutrientes, lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$ , plantio direto, *Avena strigosa*, *Vicia sativa*.

**SUMMARY:** *DYNAMICS OF SOIL NITROGEN AND COVER CROPS DRY MATTER PRODUCTION IN THE FALL/WINTER AS AFFECTED BY PIG SLURRY USE*

*The use of pig slurry before implanting cover crops in the fall/winter is becoming a common practice in southern Brazil, although its effects on crops and soil are still poorly investigated. The objective of the present study was to analyze the dynamics of soil N as well as to study the cover crop yields under use of pig slurry in the fall/winter. The study was developed in the growing season 2000 on an experimental area of the Soils Department of UFSC, RS. The experiment was set up in a randomized complete block design with split-plots and three replications. The main plots had black oat, black oat (30 %) + common vetch (70 %) mixture and spontaneous vegetation of the area (fallow). Four pig slurry rates (0, 20, 40 and  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) were applied on the split-plots. The mineral N contents ( $\text{N-NH}_4^+$  and  $\text{N-NO}_2^- + \text{N-NO}_3^-$ ) were evaluated at seven dates in the layers of 0–5, 5–15, 15–30 and 30–60 cm depth. The dry matter production and N, P and K concentration of cover crops and spontaneous vegetation were evaluated. Mineral soil N increased with liquid manure application, with similar N dynamics when applied on residues of oat/corn or on weeds/corn residues. After application of  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  there was evidence of  $\text{N-NO}_3^-$  leaching to depths below 60 cm, higher in weeds/corn system than oat/corn crop system. Dry matter production as well as the content of N, P and K in cover crops increased with the use of slurry. For single oat the increase of dry matter production with a slurry dose of 40 was  $2.7 \text{ mg ha}^{-1}$  compared to no-slurry treatment. In the oat + vetch mixture the increased slurry amount stimulated the development of oat in detriment of vetch and the dry matter production and N added were most in balance at a slurry rate of  $20 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . This study demonstrates the efficiency of fall/winter cover crops in nutrient cycling through application of pig slurry and shows the importance of using species with high dry matter production and N demand.*

*Index terms:* nutrient cycling,  $\text{N-NO}_3^-$  leaching, no-tillage, *Avena strigosa*, *Vicia sativa*.

## INTRODUÇÃO

A disponibilidade de N no solo com a aplicação de dejetos líquidos de suínos depende, principalmente, do destino da fração de N amoniacal dos dejetos e, em menor grau, da mineralização do N orgânico (Morvan et al., 1996). Isto porque a proporção do N total que se encontra na forma de  $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3$  pode chegar a 70 %, quando os dejetos forem armazenados em esterqueiras anaeróbicas (Scherer et al., 1996).

Quando os dejetos são aplicados no solo, o N amoniacal é oxidado até nitrato pelas bactérias nitrificadoras (Whitehead, 1995). Esse processo é normalmente rápido, tanto em condições de clima temperado (Morvan et al., 1996) como subtropical (Almeida, 2000; Franchi, 2001), e pode ser quantificado por meio da análise periódica dos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e  $\text{N-NO}_3^-$  no solo (Morvan et al., 1996).

Considerando que a aplicação dos dejetos é feita normalmente antes da semeadura das culturas, a

rápida nitrificação do N amoniacal dos dejetos poderá resultar em teores elevados de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo em um momento em que a demanda de N das plantas ainda é pequena. Dependendo da intensidade e da quantidade de chuvas, isso poderá resultar em perdas de N por lixiviação de  $\text{N-NO}_3^-$  e desnitrificação, uma vez que, em condições anaeróbicas, o  $\text{N-NO}_3^-$  atua como aceptor de elétrons da cadeia respiratória de algumas bactérias, sendo reduzido à forma gasosa de  $\text{N}_2$  (Dendooven et al., 1998). Esses dois processos podem resultar na diminuição do potencial fertilizante nitrogenado dos dejetos e no aumento no seu potencial poluidor do ambiente.

Pelo fato de a quantidade de  $\text{N-NH}_4^+$  aplicada com os dejetos de suínos e a temperatura estarem entre os principais fatores que influenciam as transformações do N no solo (Flowers & O'Callaghan, 1983; Whitehead, 1995), é importante estudar a dinâmica do nutriente, quando esse material orgânico é utilizado como fertilizante no outono, antecedendo as plantas de cobertura de solo. Isto por que as informações geradas até o momento no Brasil, envolvendo o uso de dejetos de suínos, foram obtidas, em sua maioria com a cultura do milho e no sistema de cultivo convencional, com a incorporação do material orgânico ao solo, via aração e gradagem (Konzen et al., 1997; Scherer et al., 1998).

Em regiões onde a produção de suínos é intensiva, o acúmulo de quantidades expressivas de dejetos, aliado à disponibilidade restrita de áreas para a sua aplicação, tem promovido seu uso como fertilizante orgânico, não apenas nas culturas comerciais, mas também nas plantas utilizadas para cobertura de solo, com aumentos significativos na produção destas (Barcellos, 1991; Sieling et al., 1997). Considerando a necessidade de produção de forragem, de grãos e de resíduos culturais para a proteção do solo no sistema plantio direto (SPD), é necessário intensificar estudos que envolvam o efeito dos dejetos de suínos sobre as plantas de cobertura de solo no outono/inverno.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica do N no solo, a produção de fitomassa e o acúmulo de nutrientes por plantas de cobertura no outono/inverno decorrentes da aplicação de dejetos de suínos em sistema plantio direto.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado em condições de campo, no período de maio a outubro de 2000, na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Rio Grande do Sul, em um Argissolo Vermelho distrófico arênico (Hapludalf), segundo classificação da Embrapa (1999). O experimento faz parte de um projeto iniciado em 1998, para avaliar a dinâmica do C e do N no solo com o uso associado de dejetos de suínos e plantas de cobertura de solo na cultura do milho em SPD.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas e três repetições. Em maio de 1998 e de 1999, foram plantados nas três parcelas principais, de 5 x 20 m, e sem o uso de fertilizantes, aveia preta (*Avena strigosa* Schieb), consórcio de aveia preta + ervilhaca comum (*Vicia sativa* L.), na proporção de 70 % de sementes de ervilhaca ( $56 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e 30 % de aveia ( $24 \text{ kg ha}^{-1}$ ), e um tratamento onde cresceu a vegetação espontânea de outono/inverno (pousio), composta principalmente pelas espécies serralha (*Sonchus oleraceus*) e gorga (*Spergula arvensis*). As parcelas principais foram divididas em quatro subparcelas, de 5 x 5 m, nas quais foram aplicadas, no milho, em outubro de 1998 e de 1999, doses de dejetos de suínos (0, 20, 40 e  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) imediatamente antes da semeadura da cultura.

Neste trabalho, o efeito dos dejetos foi avaliado sobre as plantas de cobertura. Para isso, as doses de dejetos foram reaplicadas nas subparcelas, em maio de 2000, imediatamente antes de sua semeadura. Portanto, os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais remanescentes de dois anos agrícolas de aveia/milho, aveia + ervilhaca/milho e pousio/milho. Em abril de 2000, um mês antes da instalação do experimento, foram coletadas, com auxílio de um trado calador, seis amostras de solo da camada de 0–15 cm em cada subparcela, nas doses de 0, 40 e  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos. As amostras de solo, coletadas em cada uma das três doses, independentemente do tratamento da parcela principal, foram reunidas, constituindo uma amostra única. Após a secagem a  $55^\circ\text{C}$ , o solo foi moído e analisado, conforme métodos descritos em Tedesco et al. (1995) (Quadro 1).

Os dejetos de suínos, compostos de fezes, urina, sobras de alimentação e de água dos bebedouros, água das chuvas, pêlos e poeira, foram originados de animais de maternidade e cria e armazenados em esterqueira anaeróbia, com tempo de fermentação variando de 1 a 60 dias. Esta variação no tempo de fermentação deve-se ao fato de ser a entrada de dejetos na esterqueira contínua, apresentando a esterqueira uma capacidade de armazenamento de 60 dias. A esterqueira cheia continha uma mistura de dejetos, desde aqueles que entraram no dia da coleta até aqueles que ali permaneceram fermentando durante 60 dias.

A matéria seca dos dejetos foi determinada após a secagem dos dejetos em estufa a  $65^\circ\text{C}$  até peso constante. Um dia após a aplicação dos dejetos no campo, procedeu-se à determinação do pH e dos teores de N total e de N amoniacal ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3$ ) nos dejetos "in natura", conforme métodos utilizados por Almeida (2000). Os teores de C orgânico, P e K foram analisados no material seco em estufa a  $65^\circ\text{C}$ , após moagem; conforme descrito em Tedesco et al. (1995). O pH dos dejetos foi de 7,5.

A análise físico-química revelou a seguinte composição dos dejetos (base úmida):  $2,00 \text{ kg m}^{-3}$  de N total,  $1,01 \text{ kg m}^{-3}$  de N amoniacal total ( $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3$ ),  $28,3 \text{ kg m}^{-3}$  de matéria seca,  $8,39 \text{ kg m}^{-3}$  de C orgânico,  $1,41 \text{ kg m}^{-3}$  de P e  $0,57 \text{ kg m}^{-3}$  de K.

**Quadro 1. Características químicas da camada de 0–15 cm do solo Argissolo Vermelho distrófico arênico em maio de 2000, na média dos tratamentos das parcelas principais em três doses de dejetos de suínos**

Dose de dejetos	CTC	pH H <sub>2</sub> O	Índice SMP	P	K	Al <sup>3+</sup>	MO
m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			mg dm <sup>-3</sup>		cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	g kg <sup>-1</sup>
0	3,9	5,2	6,5	14,4	29,1	0,2	16,0
40	4,2	5,4	5,4	36,0	32,2	0,1	18,7
80	4,6	5,3	6,3	59,2	34,2	0,1	19,0

A aplicação dos dejetos ocorreu em 31/05/2000, e, cinco dias após, foi realizada a semeadura da aveia e da ervilhaca. A semeadura destas espécies foi feita manualmente, a lanço, seguida de uma passagem, em toda área experimental, de semeadora vazia com espaçamento entre linhas de 17 cm, visando incorporar melhor as sementes das espécies e simular o plantio direto.

No solo, foram avaliados periodicamente os teores de N mineral (N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> + N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) apenas naquelas parcelas em que os dejetos de suínos foram aplicados sobre os resíduos culturais remanescentes de aveia/milho e pousio (vegetação espontânea)/milho e em três (0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) das quatro doses aplicadas nas subparcelas. Foram selecionados apenas estes tratamentos por considerar os mais representativos quanto ao uso agrícola de dejetos e pelo elevado número de amostras para as análises laboratoriais posteriores. As amostragens de solo foram efetuadas com trado calador em quatro camadas (0–5, 5–15, 15–30 e 30–60 cm), no dia da aplicação dos dejetos (31/05/2000) e em mais seis datas: aos 4 (04/06/2000), 13 (13/06/2000), 24 (24/06/2000), 36 (06/07/2000), 50 (20/07/2000) e 79 (09/08/2000) dias após a aplicação dos dejetos.

Na camada mais superficial do solo (0–5 cm) de cada subparcela, foram coletadas dez subamostras na primeira amostragem, enquanto, nas demais, esse número foi reduzido para seis subamostras. Esse procedimento foi adotado em razão da elevada variabilidade nos teores de N mineral do solo, especialmente, logo após a aplicação dos dejetos, conforme constataram Morvan et al. (1996). As subamostras de cada subparcela foram misturadas, constituindo uma amostra única, que foi acondicionada em sacos plásticos e mantida congelada a -20 °C até o momento da análise, com exceção da camada de 0–5 cm, coletada no dia da aplicação dos dejetos, quando o N mineral foi analisado logo após a coleta. Por ocasião da análise do N mineral, as amostras foram descongeladas à temperatura ambiente, homogeneizadas manualmente e submetidas à extração com KCl 1 mol L<sup>-1</sup> (relação solo:solução de 1:4) e posterior destilação com a adição de MgO, para obter os teores de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, e de liga de

Devarda, para obter os teores de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (Tedesco et al., 1995). Considerando que, normalmente, os teores de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> são baixos, todo o N nítrico é representado pelo N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

Paralelamente à determinação do N mineral, foi efetuada a determinação da umidade das amostras do solo, em estufa a 105 °C, durante 72 h, visando à apresentação dos resultados em base seca. As quantidades de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram expressas em kg ha<sup>-1</sup>, sendo consideradas a concentração destas formas de N e a densidade do solo em cada camada.

Em 02/10/2000, no estágio de pleno florescimento da aveia e início de florescimento da ervilhaca, efetuou-se a avaliação da produção de matéria seca das espécies de cobertura de solo. Para isso, foi coletada, aleatoriamente, em cada subparcela, uma amostra de 0,49 m<sup>2</sup>. No tratamento com consórcio, procedeu-se à separação da aveia e da ervilhaca para avaliar a contribuição de cada uma das espécies na produção total de matéria seca. Nas parcelas em pousio, foi coletada, em cada subparcela, a vegetação espontânea da área. Após a coleta, o material foi seco em estufa a 65 °C até massa constante.

Após a secagem em estufa, as plantas de cobertura e a vegetação espontânea foram pesadas para a avaliação da produção de matéria seca (MS) e moídas, inicialmente, em triturador de forragens, subamostradas e moídas novamente em moinho tipo Willey, com peneira de 40 mesh. Após a digestão úmida do tecido vegetal, o N foi determinado em destilador de arraste de vapores do tipo semimicro Kjeldhal, o P em fotolorímetro e o K em fotômetro de chamas (Tedesco et al., 1995).

Os resultados relativos à produção de matéria seca e ao acúmulo de nutrientes nas plantas de cobertura e na vegetação espontânea foram submetidos à análise da variância e de regressão. Quando não houve interação significativa entre os fatores de natureza quantitativa (doses de dejetos) e qualitativa (plantas de cobertura e vegetação espontânea), foram comparadas entre si as médias das quatro doses de dejetos em cada tratamento das parcelas principais pelo teste de Tukey a 5 %. Os resultados referentes

ao N mineral ( $N-NH_4^+$  e  $N-NO_2^- + N-NO_3^-$ ) do solo foram submetidos à análise de variância e ao teste de Tukey a 5 %, para comparação de médias entre tratamentos. Em cada coleta realizada, a comparação das quantidades de N mineral no solo entre os tratamentos foi feita para a camada de 0–60 cm, considerando a soma das quantidades de N mineral em cada camada analisada. Por outro lado, a comparação das quantidades de  $N-NO_3^-$  no perfil do solo em cada coleta foi feita separadamente para cada camada de solo nos diferentes tratamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Nitrificação do $N-NH_4^+$ e deslocamento do $N-NO_3^-$ no solo

A nitrificação do N amoniacal dos dejetos pode ser estimada a partir da variação dos teores de  $N-NH_4^+$  e  $N-NO_3^-$  do solo em determinado período de tempo. Para isso, não deve ocorrer transferência de  $N-NO_3^-$  para além da camada de solo considerada. Considera-se, também, que as perdas de  $N-NO_3^-$  por desnitrificação e a imobilização de  $N-NO_3^-$  no período sejam negligíveis. No presente estudo, considerou-se que essas condições são satisfeitas apenas nos primeiros quatro dias do experimento e na camada de 0–5 cm de solo. Após este período, podem ter ocorrido perdas de N por desnitrificação e, principalmente, por lixiviação de  $N-NO_3^-$  para camadas mais profundas de solo, considerando as intensas precipitações pluviais ocorridas, as quais totalizaram 161 mm entre cinco e 13 dias após a aplicação dos dejetos. A imobilização de  $N-NO_3^-$  é pouco provável, uma vez que, nos primeiros quatro dias, havia predominância de N amoniacal no solo, que é a forma preferencial de N assimilada pelos microrganismos, quando nitrato e amônio estão presentes (Recous et al., 1990).

Com base na diferença entre as quantidades de  $N-NO_3^-$  da camada de 0–5 cm da amostragem realizada no dia da aplicação dos dejetos (dados não mostrados) e daquela realizada quatro dias após (Figura 1a), calcularam-se as taxas de nitrificação para os tratamentos em que os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais remanescentes da sucessão aveia/milho e sobre aqueles da vegetação espontânea (pousio/milho). Os valores encontrados para a taxa de nitrificação no pousio/milho foram de  $0,98 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , para a dose de  $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , e de  $0,61 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , para a dose de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ . Com a aplicação dessas mesmas doses de dejetos sobre os resíduos remanescentes de aveia/milho, os valores calculados foram de  $0,86 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  ( $40 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ) e de  $1,53 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  ( $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ). Aplicando dejetos de suínos na mesma área deste estudo, porém na primavera, Almeida (2000) e Franchi (2001) encontraram maiores taxas de nitrificação do  $N-NH_4^+$ . Cinco dias após a aplicação de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos sobre os resíduos culturais do pousio/milho e da aveia/milho, a nitrificação na camada de 0–5 cm foi de

$1,48 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  e de  $3,10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente (Almeida, 2000). Nessa mesma dose, Franchi (2001) encontrou, seis dias após a aplicação dos dejetos, uma taxa de nitrificação de  $4,96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , no tratamento com resíduos culturais do pousio/milho, e de  $5,32 \text{ kg ha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , no tratamento com resíduos culturais de aveia/milho.

As menores taxas de nitrificação encontradas nesse experimento, em relação àquelas relatadas por Almeida (2000) e Franchi (2001), devem estar relacionadas, principalmente, com as variações de temperatura em cada estudo. Enquanto Almeida (2000) e Franchi (2001) aplicaram os dejetos no mês de outubro, com temperaturas médias diárias nos primeiros cinco dias de experimentação de  $19,7$  e  $20,3$  °C, respectivamente; no presente trabalho, os dejetos foram aplicados em maio, quando a temperatura média, nos primeiros quatro dias após a aplicação dos dejetos, foi de  $11,6$  °C. Ao avaliarem o efeito da temperatura sobre a nitrificação do N amoniacal de dejetos de suínos, Flowers & O'Callaghan (1983) verificaram que o aumento da temperatura de  $5$  para  $15$  °C proporcionou um aumento de  $2,38$  para  $5,32 \mu\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  de N no solo na taxa de nitrificação.

As quantidades de  $N-NO_3^-$  na camada de 0–5 cm do solo foram maiores nos tratamentos com dejetos logo na primeira amostragem, realizada aos quatro dias (Figura 1a). Com o passar do tempo, a diferença nas quantidades de  $N-NO_3^-$  observada na camada mais superficial transferiu-se para as camadas inferiores, evidenciando o deslocamento de  $N-NO_3^-$  no perfil. Esse rápido deslocamento do  $N-NO_3^-$  pode ser atribuído à infiltração de água no perfil do solo, uma vez que, nas amostragens realizadas aos cinco e 36 dias da aplicação dos dejetos, as chuvas totalizaram 234 mm. Além da movimentação do  $N-NO_3^-$  dentro da camada de 0–60 cm, a absorção de  $N-NO_3^-$  pela aveia e pela vegetação espontânea do pousio também pode ter contribuído para a diminuição dessa forma de N nas camadas mais superficiais.

Aos 36 dias, a quantidade média de  $N-NO_3^-$  na camada mais profunda (30–60 cm) do solo dos tratamentos aveia e pousio com aplicação de  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  de dejetos de suínos foi em torno de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  maior do que aquela encontrada na média desses dois tratamentos, sem a aplicação de dejetos (Figura 1d). O aumento na quantidade de  $N-NO_3^-$  na camada de 30–60 cm desde os 24 dias (Figura 1c), acrescido da diferença entre a aveia na dose  $80 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  e a aveia sem dejetos, que se aproximou de  $32 \text{ kg}$  de  $N-NO_3^-$  aos 50 dias (Figura 1e), indicam que o nitrato poderá ser lixiviado no solo e atingir o lençol freático. Isso irá depender da velocidade de deslocamento do  $N-NO_3^-$  no perfil, a qual depende do volume de água infiltrado e da capacidade do sistema radicular da aveia em absorver  $N-NO_3^-$  das camadas mais profundas do solo. Tais resultados indicam, como alternativa para minimizar as perdas de N, especialmente em anos com pluviosidade elevada, a aplicação parcelada

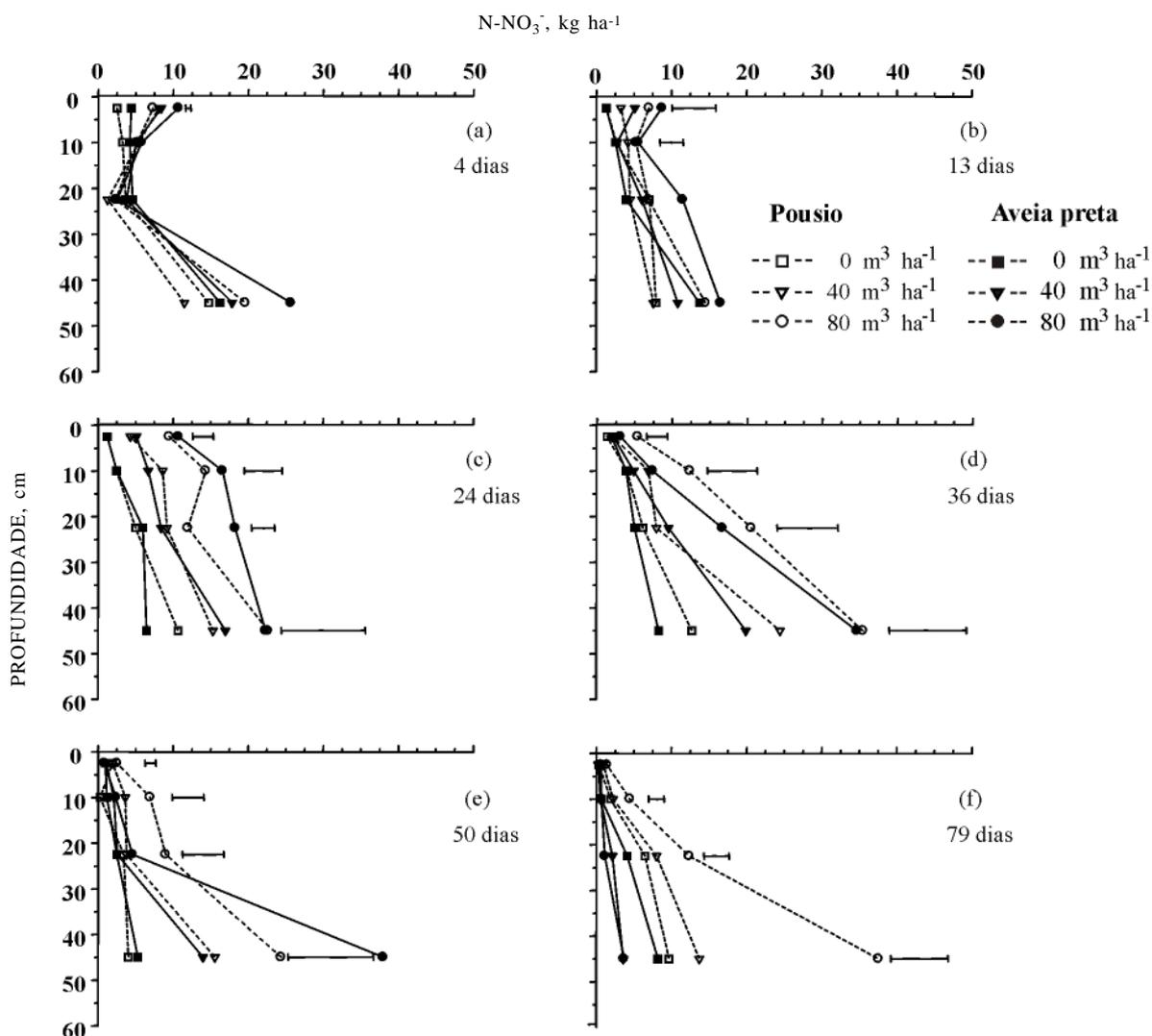


Figura 1. Quantidades de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 0-60 cm do solo durante o desenvolvimento da aveia e da vegetação espontânea (pousio), aos 4, 13, 24, 36, 50 e 79 dias da aplicação dos dejetos (0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>). Barras horizontais indicam diferença mínima significativa (Tukey a 5 %).

(semeadura e cobertura) de doses elevadas de dejetos vez da aplicação única.

Comparando as quantidades de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> determinadas para os tratamentos em que os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais da vegetação espontânea/milho (pousio) com aqueles remanescentes de aveia/milho, na dose de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos, observa-se que essas, de maneira geral, são superiores no tratamento com resíduos de aveia/milho até à amostragem realizada aos 24 dias (Figura 1). Embora as perdas de N por volatilização de amônia com a aplicação de dejetos de suínos sejam maiores sobre os resíduos culturais da vegetação espontânea do que sobre aveia, diminuindo a quantidade de N mineral no solo (Port et al., 2003), era esperado que o acúmulo de C no solo, proveniente dos resíduos culturais da aveia e daqueles remanescentes de aveia/milho de dois cultivos

anteriores, provocasse a imobilização de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pela população microbiana, diminuindo a quantidade de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo em relação ao pousio. É provável que o pequeno contato entre os resíduos culturais e o solo em sistema plantio direto tenha limitado a atividade da população microbiana, diminuindo o seu potencial de imobilização de N. Além disso, com a elevada taxa de nitrificação e o rápido deslocamento do N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no solo, é provável que a disponibilidade de N nos sítios de decomposição dos resíduos culturais tenha sido limitante à ação dos microrganismos decompositores.

Nas amostragens de solo realizadas 36 e 50 dias após a aplicação dos dejetos, há uma inversão em relação ao observado nas amostragens anteriores; as quantidades de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> nas camadas até à profundidade de 30 cm tendem a apresentar valores maiores no pousio do que sobre aveia (Figura 1d e 1e). Na última amostragem, realizada aos 79 dias, a

diferença em favor do pousio é significativa a partir da camada de 5–15 cm. Nas camadas de 15–30 e 30–60 cm, há 10,2 e 33,9 kg ha<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> a mais no pousio do que sobre aveia (Figura 1f). Tais resultados podem ser atribuídos à absorção diferenciada de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> entre a vegetação espontânea do pousio e a aveia, a qual produziu maior quantidade de matéria seca, razão por que absorveu maior quantidade de N do solo. O N acumulado pela aveia, determinado na fase de pleno florescimento (124 dias após a aplicação dos dejetos) atingiu 60,6 kg ha<sup>-1</sup> de N contra apenas 25,2 kg ha<sup>-1</sup> de N na vegetação espontânea.

Os resultados relativos às quantidades e à distribuição de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> no perfil do solo evidenciam que a aplicação de dejetos de suínos aumenta significativamente a disponibilidade dessa forma de N no solo, confirmando resultados obtidos por Zebarth et al. (1996) ao aplicarem dejetos de suínos no milho em doses equivalentes a 0, 175, 350 e 525 kg ha<sup>-1</sup> de N. Na colheita do milho para silagem, os autores encontraram valores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 0–60 cm do solo superiores aos da testemunha sem dejetos, tendo a maior dose de dejetos variado de 160 a 420 kg ha<sup>-1</sup> de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. É importante destacar que o aumento nas quantidades de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ocorre rapidamente no solo, quando a demanda em N das culturas é ainda muito pequena, podendo aumentar o potencial de perdas de N por desnitrificação e lixiviação, resultando na diminuição do valor fertilizante nitrogenado dos dejetos e no aumento do risco de contaminação ambiental pela emissão de N<sub>2</sub>O e pela lixiviação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>.

### Quantidades de nitrogênio mineral no solo

A quantidade de N mineral na camada de 0–60 cm do solo (soma das camadas 0–5, 5–15, 15–30 e 30–60 cm) aumentou com as doses de dejetos, não havendo diferenças entre o pousio e a aveia em cada dose, com exceção da última amostragem, em que, na dose de 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos, a quantidade de N mineral foi maior no pousio do que na aveia (Figura 2a). Provavelmente, a vegetação espontânea do pousio tenha sido menos eficiente do que a aveia em absorver o N mineral fornecido pelos dejetos, embora a diferença em favor do pousio só tenha sido detectada na amostragem efetuada aos 79 dias. Tal resultado deve estar ligado ao pequeno acúmulo de N pela aveia na fase inicial de crescimento. Hübner et al. (2000) avaliaram a curva de acúmulo de N pela aveia preta e verificaram que, até 37 dias após a semeadura, a cultura acumulou apenas 18 % do N acumulado até 90 dias.

Para melhor ilustrar o efeito dos dejetos de suínos sobre as quantidades de N mineral do solo, calculou-se, em cada amostragem, a diferença entre as quantidades de N mineral encontradas nas doses de 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos dos tratamentos aveia e pousio e as quantidades de N mineral desses dois tratamentos, porém sem o uso de dejetos (0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>).

O resultado evidenciou que, na primeira amostragem realizada após a aplicação dos dejetos, o acréscimo na quantidade de N mineral no tratamento em pousio foi de 28,6 e 68,8 kg ha<sup>-1</sup> de N, nas doses de 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos, respectivamente, enquanto no tratamento com aveia, para essas mesmas doses, o acréscimo foi de 22,0 e 55,6 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figura 2b). Tais valores representaram 71,5 e 86,0 % do N mineral aplicado com a dose de 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>, respectivamente. No tratamento com aveia, a recuperação do N mineral diminuiu para 42,6 e 67,1 %, nas doses de 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>.

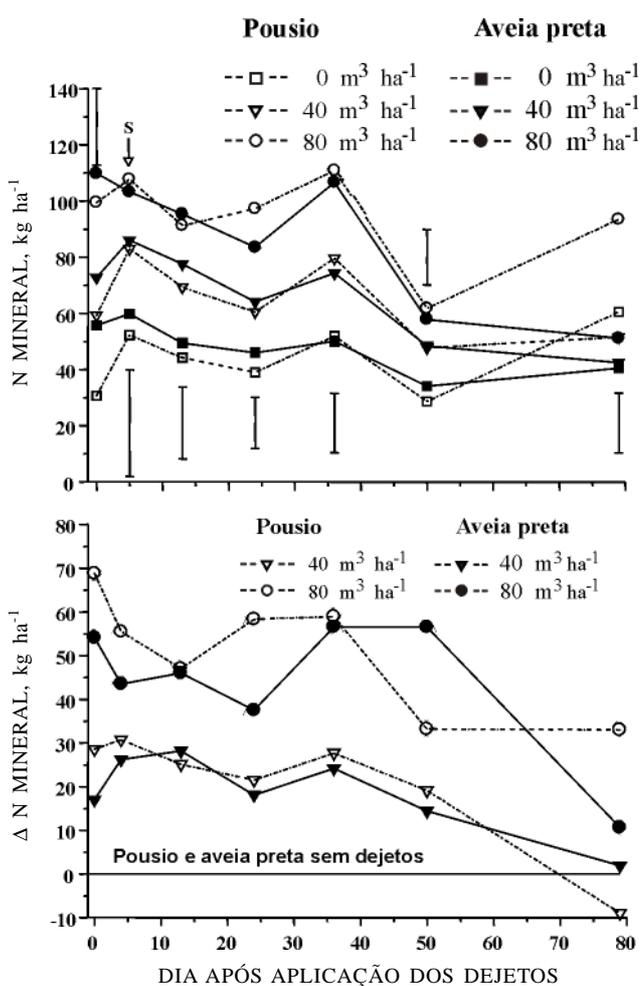


Figura 2. Quantidades de N mineral na camada de 0–60 cm do solo (soma das camadas 0–5, 5–15, 15–30 e 30–60 cm) durante o desenvolvimento da aveia e da vegetação espontânea (pousio), nas doses de 0, 40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> de dejetos durante o outono/inverno (a) e diferença ( $\Delta$  N mineral) entre as quantidades de N mineral na camada de 0–60 cm do solo nos tratamentos com aplicação de dejetos líquidos (40 e 80 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) na aveia e na vegetação espontânea (pousio) e os tratamentos sem aplicação de dejetos (0 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup>) (b). Barras verticais indicam diferença mínima significativa (Tukey a 5 %). A flecha indica o momento da semeadura (S) da aveia.

O menor índice de recuperação no solo do N mineral aplicado com os dejetos no tratamento aveia/milho em relação ao pousio/milho pode ser atribuído não só à retenção da fração líquida dos dejetos, a qual é rica em N amoniacal, pelos resíduos culturais recentes de aveia e remanescentes de aveia/milho, mas também às perdas de N por volatilização de  $\text{NH}_3$ , uma vez que, logo após a aplicação dos dejetos, a imobilização e as perdas de N por desnitrificação devem ter sido insignificantes. Em um estudo paralelo a este, Port et al. (2003) verificaram que 16,1 e 12,7 % do N amoniacal foi perdido por volatilização de amônia, quando os dejetos foram aplicados sobre os resíduos culturais remanescentes da vegetação espontânea/milho e de aveia/milho, respectivamente. Cerca de 50 % dessa perda ocorreu nas primeiras 24 h após a aplicação dos dejetos.

Os resultados deste experimento, mostrando que a quantidade de N mineral no solo aumenta com o uso de dejetos de suínos (Figura 2), confirmam os de outros estudos (Sutton et al., 1978; Morvan et al., 1997; Sieling et al., 1997; Almeida, 2000; Franchi, 2001), evidenciando o elevado potencial desse material orgânico como fonte de N às culturas.

### Efeito dos dejetos sobre as plantas de cobertura e sobre a vegetação espontânea (pousio)

A aplicação de dejetos de suínos aumentou a produção de matéria seca das culturas no outono/inverno, com menor resposta da vegetação espontânea à aplicação dos dejetos, em relação às plantas de cobertura. Quando os dejetos foram aplicados na aveia e no consórcio de aveia + ervilhaca, o máximo de acúmulo de matéria seca foi atingido com a aplicação de 65 e 72  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de dejetos de suínos, respectivamente (Figura 3).

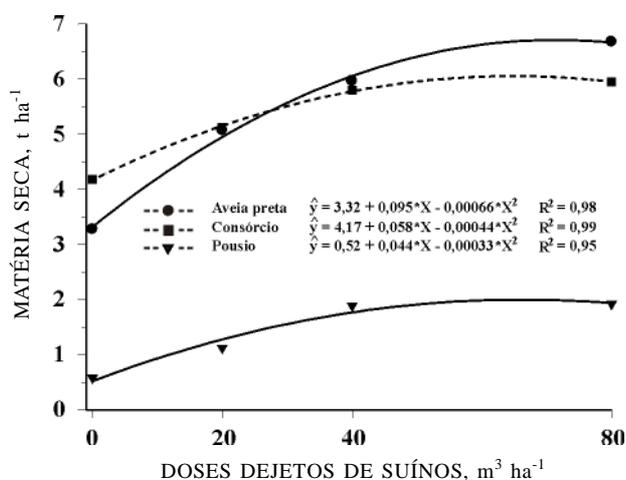


Figura 3. Produção de matéria seca das plantas de cobertura e da vegetação espontânea (pousio) com o uso de dejetos de suínos nas doses de 0, 20, 40 e 80  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ . \* Significativo a 5 %.

O maior incremento na produção de matéria seca com o uso de dejetos, de 104 %, foi obtido na aveia solteira, confirmando resultados de Barcellos (1991) que, ao aplicar 40  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de dejetos de suínos (36  $\text{kg ha}^{-1}$  de  $\text{N-NH}_4^+$ ) em um Argissolo Vermelho distrófico arênico, determinou um aumento de 109 % no acúmulo de matéria seca na cultura da aveia em relação à testemunha sem adubação. Resposta ainda maior à adubação orgânica foi obtida por Whitehead et al. (1989), ao aplicarem 200  $\text{kg ha}^{-1}$  de N via dejetos de suínos na cultura do centeio, que produziu 163 % mais matéria seca do que na ausência de dejetos.

Um aspecto interessante a destacar no tratamento com consórcio entre aveia e ervilhaca é o comportamento de cada espécie em relação à produção de matéria seca, quando submetidas a doses crescentes de dejetos. À medida que aumentaram as doses e, em consequência, a disponibilidade de N, a produção de matéria seca da aveia aumentou e a da ervilhaca diminuiu (Figura 4). Assim, enquanto a produção de MS da aveia aumentou 109 % com a dose de 80  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  de dejetos, em relação ao tratamento sem dejetos, a da ervilhaca diminuiu 50 %. O melhor crescimento da aveia, em relação à ervilhaca, é devido à maior capacidade da gramínea em absorver o N disponível do solo em relação à leguminosa, o que confirma os resultados obtidos por Aita et al. (2000). Ao estabelecerem o consórcio de aveia (30 %) e ervilhaca (70 %) sobre feijão-de-porco, tais autores constataram que a aveia participou com 74 % da produção de matéria seca total, enquanto, no mesmo consórcio, sobre pousio, a contribuição da gramínea diminuiu para apenas 35 %.

O consórcio entre aveia e ervilhaca vem sendo recomendado na região Sul do Brasil em decorrência da proteção do solo oferecida pelos resíduos culturais da aveia, que se decompõem lentamente, e da adição de N pela ervilhaca que fixa  $\text{N}_2$  da atmosfera em simbiose com rizóbio (Aita & Giacomini, 2003). Se a prioridade for a adição de matéria seca ao solo, deve-se estimular a produção de aveia e se, por outro lado, o objetivo for aumentar a disponibilidade de N às culturas em sucessão, deve-se privilegiar a ervilhaca. Com o uso de dejetos de suínos e na proporção entre aveia e ervilhaca empregada neste estudo, a melhor combinação entre esses dois fatores (produção de fitomassa para proteção do solo pela aveia e adição de N pela ervilhaca) ocorreu para a dose de 20  $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$  (Figura 4).

Não houve interação significativa entre os fatores dejetos e espécies de cobertura de solo sobre o acúmulo de N, P e K na parte aérea destas. Na média das quatro doses de dejetos de suínos, o maior acúmulo de N foi obtido no tratamento com consórcio de aveia e ervilhaca (Quadro 2), evidenciando a importância do uso de leguminosas como estratégia para adicionar N em sistemas de culturas. O acúmulo de P não diferiu entre as espécies, as quais superaram aquele encontrado no tratamento com pousio. Quanto ao K,

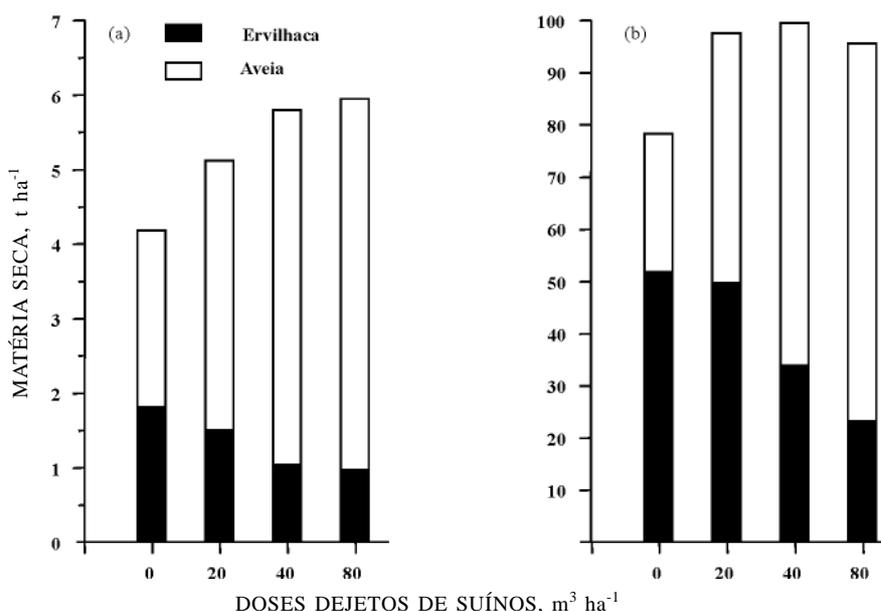


Figura 4. Produção de matéria seca (a) e acúmulo de nitrogênio (b) pela aveia e pela ervilhaca quando consorciadas e adubadas com doses crescentes de dejetos de suínos.

Quadro 2. Nitrogênio, fósforo e potássio acumulados na parte aérea das plantas de cobertura e na vegetação espontânea (pousio) na média das doses de dejetos de suínos (0, 20, 40 e 80 m³ ha⁻¹)

Tratamento	Nutriente acumulado		
	N	P	K
	kg ha⁻¹		
Aveia	60,6 b <sup>(1)</sup>	28,4 a	88,5 a
Aveia + ervilhaca	92,7 a	27,4 a	81,9 a
Pousio	25,2 c	12,5 b	39,0 c

<sup>(1)</sup> Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

a aveia solteira e o consórcio acumularam as maiores quantidades do elemento.

Os resultados obtidos neste estudo evidenciam a eficiência das plantas de cobertura no outono/inverno em ciclar nutrientes fornecidos pelos dejetos de suínos, bem como a importância em utilizar espécies com elevado potencial de produção de matéria seca e que sejam exigentes em N. Todavia, mesmo na presença da aveia, houve evidência de perdas de N por lixiviação de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na fase inicial da cultura e na maior dose utilizada (80 m³ ha⁻¹). Portanto, deve-se evitar a aplicação de doses elevadas de dejetos para preservar seu valor como fonte de N às culturas no outono/inverno e diminuir o seu potencial poluidor do ambiente.

## CONCLUSÕES

1. A quantidade de N mineral do solo aumentou com a aplicação de dejetos líquidos, e a dinâmica do N não diferiu entre aplicar os dejetos sobre os resíduos culturais remanescentes de aveia/milho ou sobre aqueles da vegetação espontânea/milho.

2. Com a aplicação de 80 m³ ha⁻¹ de dejetos, houve evidências de perda de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por lixiviação para além da profundidade de 60 cm, sendo maiores no sistema vegetação espontânea/milho do que no sistema aveia/milho.

3. Os dejetos de suínos apresentaram elevado potencial fertilizante, visto que o seu uso aumentou o acúmulo de nutrientes e a produção de matéria seca das plantas de cobertura.

4. O aumento das doses de dejetos sobre o consórcio de aveia + ervilhaca favoreceu o crescimento da gramínea em detrimento da leguminosa, tendo ocorrido o melhor equilíbrio entre produção de fitomassa e acúmulo de N na dose de 20 m³ ha⁻¹ de dejetos.

## LITERATURA CITADA

AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Decomposição e liberação de nitrogênio dos resíduos culturais de plantas de cobertura solteiras e consorciadas. R. Bras. Ci. Solo, 27:601-612, 2003.

- AITA, C.; GIACOMINI, S.J. & FRIES, M.R. Ciclagem de nutrientes no solo com plantas de cobertura e dejetos de animais. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 24, REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICIRRIZAS, 8., SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3.; Santa Maria, 2000. Palestras. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- 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)
- BARCELLOS, L.A.R. Avaliação do potencial fertilizante do esterco líquido de bovinos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1991. 108p. (Tese de Mestrado)
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília, 1999. 412p.
- FRANCHI, E.A.G. Dinâmica do nitrogênio no solo e produtividade de milho, aveia e ervilhaca com o uso de dejetos de suínos em sistema de plantio direto. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2001. 70p. (Tese de Mestrado)
- FLOWERS, T.H. & O'CALLAGHAN, O.R. Nitrification in soils incubated with pig slurry or ammonium sulphate. *Soil Biol. Bioch.*, 13:337-342, 1983.
- HÜBNER, A.P.; AITA, C.; CUBILLA, M.; MARQUES, M.G.; CADORE, F.; GIACOMINI, S.J.; PORT, O. & FRIES, M.R. Plantas recuperadoras de solo como fonte de N à aveia (*Avena strigosa* Schieb) em sucessão. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 24., REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICIRRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6, REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3.; Santa Maria, 2000. Resumos. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-ROM
- 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)
- DENDOOVEN E.; BONHOMME R.; MERCKX K. & VLASSAK. N dynamics and N<sub>2</sub>O production following pig slurry application to a loamy soil. *Biol. Fert. Soils*, 26:224-228, 1998.
- 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 <sup>15</sup>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 <sup>15</sup>N-labelled ammonium. *Eur. J. Agron.*, 7:181-188, 1997.
- RECOUS, S.; MARY, B. & FAURIE, G. Microbial immobilization of ammonium and nitrate in cultivated soils. *Soil Biol. Bioch.*, 22:913-922, 1990.
- PORT, O.; AITA, C. & GIACOMINI, S.J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38: 857-865, 2003.
- SCHERER, E.E. Utilização de esterco de suínos como fonte de nitrogênio: Bases para produção dos sistemas milho/feijão e feijão/milho, em cultivos de sucessão. Florianópolis, Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, 1998. 48p. (Boletim Técnico, 99)
- 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)
- SIELING, K.; GÜNTHER-BORSTEL, O. & HANUS, H. Effect of slurry application and mineral nitrogen fertilization on leaching in different crop combinations. *J. Agric. Sci.*, 128:79-89, 1997.
- SUTTON, A.L.; NELSON, D.W.; MAYROSE, V.B. & NYE, J.C. Effects of liquid swine waste applications on corn yield and soil chemical composition. *J. Environ. Qual.*, 7:325-333, 1978.
- TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. Análises de solo, plantas e outros materiais. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico, 5)
- WHITEHEAD, D.C. Grassland nitrogen. Wallingford, Cab International, 1995. 416p.
- WHITEHEAD, D.C.; BRISTOW, A.W. & PAIN, B.F. The influence of some cattle and pig slurries on the uptake of nitrogen by ryegrass in relation to fractionation of the slurry N. *Plant Soil*, 117:111-120, 1989.
- ZEBARTH, B.J.; PAUL, J.W.; SCHMIDT, O. & McDOUGALL. 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.*, 528:153-164, 1996.