

PERDAS DE CARBONO E NITROGÊNIO COM APLICAÇÃO DE DEJETO LÍQUIDO BOVINO EM LATOSSOLO MUITO ARGILOSO SOB PLANTIO DIRETO E CHUVA NATURAL⁽¹⁾

Adriana Timofiecsyk⁽²⁾, Nerilde Favaretto⁽³⁾, Volnei Pauletti⁽³⁾ & Jeferson Dieckow⁽³⁾

RESUMO

O transporte de poluentes via escoamento superficial em áreas agrícolas, principalmente na forma solúvel, é considerado um problema ambiental, mesmo em sistemas conservacionistas de preparo do solo. O objetivo deste trabalho foi avaliar as perdas de carbono orgânico e nitrogênio no escoamento superficial, com a aplicação de 0, 60, 120 e 180 m³ ha⁻¹ ano⁻¹ de dejetos líquidos bovinos, em Latossolo muito argiloso, com declividade de 10 %, sob plantio direto e chuva natural, na região de Castro - PR. A aplicação do dejetos líquidos bovinos não alterou o carbono orgânico total, porém diminuiu as perdas de amônio e nitrato até a dose de 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, o que indica ser esta a dose máxima recomendada para solo muito argiloso, declive moderadamente ondulado, baixas precipitações e com no mínimo uma semana de intervalo entre a aplicação do dejetos e a ocorrência de chuvas. As concentrações médias ponderadas de amônio e nitrato no escoamento superficial aumentaram com a aplicação de dejetos. As concentrações de amônio estiveram muito acima do máximo permitido pela legislação brasileira, inclusive sem aplicação de dejetos, o que indica a necessidade de práticas que evitem a entrada do escoamento em corpos de água, mesmo em sistemas conservacionistas.

Termos de indexação: escoamento superficial, qualidade da água, nutrientes, nitrato, amônio, adubação orgânica.

⁽¹⁾ Parte da Dissertação de Mestrado do primeiro autor apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo (PPGCS), da Universidade Federal do Paraná - UFPR. Recebido para publicação em 30 de novembro de 2011 e aprovado em 02 de outubro de 2012.

⁽²⁾ Eng.-Agrônoma, Mestre em Ciência do Solo. PPGCS, UFPR. Rua dos Funcionários, 1540. CEP 80035-050 Curitiba (PR). E-mail: agro_adriana@yahoo.com.br

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos e Engenharia Agrícola, UFPR. E-mails: nfavaretto@ufpr.br; jefersondieckow@ufpr.br; vpauletti@ufpr.br

SUMMARY: CARBON AND NITROGEN LOSSES WITH LIQUID CATTLE MANURE FROM A CLAYEY OXISSOL UNDER NO-TILL AND NATURAL RAINFALL

The transport of pollutants via runoff in agricultural areas, mainly in soluble forms, is an environmental problem, even in conservation tillage systems. The objective of this study was to evaluate losses of nitrogen and organic carbon in runoff, after applications of 0, 60, 120, and 180 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ of cattle slurry to a clayey Oxisol, with 10 % slope under no-tillage and natural rainfall, in the region of Castro - PR. The application of cattle slurry did not affect total organic carbon in runoff but ammonium and nitrate losses were reduced by the fertilization with 120 m³ ha⁻¹ yr⁻¹ of slurry, indicating this as the maximum dose recommended for soils with a high clay content, moderate slope and low rainfall, with at least one week interval between manure application and rainfall. The weighted average concentrations of ammonium and nitrate increased with manure application. The ammonium concentrations exceeded the threshold established by the Brazilian law by far, even in the treatment without slurry application, indicating the need for practices that prevent runoff from entering watercourses, even in conservation tillage systems.

Index terms: runoff, water quality, nutrient, nitrate, ammonium, organic fertilizer.

INTRODUÇÃO

A produção animal no Brasil cresce a cada ano, o que, conseqüentemente, gera uma grande quantidade de dejetos, os quais vêm sendo utilizados na agricultura. No entanto, o uso inadequado desse resíduo pode causar problemas ambientais, entre os quais a contaminação das águas por diversos poluentes (Sharpley, 1995; Hooda et al., 2000; Shigaki et al., 2006; Kay et al., 2009).

O nitrogênio (N) - nutriente essencial para o crescimento de plantas e, portanto, intensivamente aplicado no solo em sistemas de produção agrícola - promove também o crescimento de organismos em ecossistemas aquáticos, alterando a qualidade da água (Correll, 1998; Daniel et al., 1998; Smith et al., 1999). Além da eutrofização, o N pode causar problemas à saúde humana, como, por exemplo, a síndrome do bebê azul ou meta-hemoglobinemia, a qual é causada pelo N na forma de NO₃⁻ (Smith et al., 1990; Dinnes et al., 2002). O nitrogênio amoniacal (amônia + amônio) também é prejudicial tanto para a saúde humana como para a vida aquática (Smith et al., 1990). Por essas razões, as concentrações de N nas formas de NO₃⁻ e NH₄⁺ são controladas por legislação, a fim de assegurar a qualidade das águas.

O carbono (C) também é um elemento poluente; sua presença nos corpos de água altera a disponibilidade de oxigênio dissolvido em função da decomposição da matéria orgânica pelos microrganismos aquáticos. Além disso, a presença de C solúvel em reservatórios é de grande preocupação em razão dos tri-halometanos, compostos cancerígenos formados no processo de cloração, em sistemas de tratamento de água para abastecimento humano (Kay et al., 2009).

Em áreas agrícolas, a qualidade da água é grandemente afetada pelo enriquecimento dos corpos de água com nutrientes via escoamento superficial. O sistema de plantio direto (SPD), por manter a superfície do solo coberta, é uma importante ferramenta para controlar os processos de perda de solo e, conseqüentemente, dos poluentes associados aos sedimentos, porém nem sempre é uma ferramenta eficaz no controle de perda de água (Cogo et al., 2003). A menor eficácia no controle dessa perda deve-se ao fato de a capacidade de infiltração do solo ser finita, independentemente do sistema de preparo. Portanto, mesmo em sistemas conservacionistas, onde ocorre redução de perda de solo (Derpsch et al., 1991), deve-se considerar o potencial de transporte de poluentes via escoamento superficial (Resck et al., 1980; Silva et al., 2005), principalmente de poluentes na forma solúvel (Sharpley et al., 1994; Bertol et al., 2005). Assim, o plantio direto (PD) deve estar aliado a outras práticas conservacionistas, como terraceamento, plantio em nível, rotação de culturas, entre outros, a fim de efetivamente se tornar um sistema conservacionista de solo e água (Bertol et al., 2012).

O uso de dejetos na agricultura tem grande potencial de contaminação das águas (Bertol et al., 2007a; Mori et al., 2009), pois eles são ricos em nutrientes e matéria orgânica, o que aumenta consideravelmente os seus níveis no solo, elevando o potencial de perdas pelo escoamento superficial (Pote et al., 1999).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da aplicação de dejetos líquido bovino em Latossolo muito argiloso sob plantio direto e chuva natural, na região dos Campos Gerais do Paraná, sobre as perdas de carbono orgânico total e de nitrogênio no escoamento superficial.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido em Castro - PR, na unidade experimental da Fundação ABC, numa área com declividade de 9,6 %, com solo classificado como Latossolo Bruno distrófico típico (Embrapa/Fundação ABC, 2001), textura muito argilosa, sob plantio direto (PD) há mais de 15 anos. O clima da região é classificado como Cfb, segundo Köppen, com precipitação pluvial média anual de 1.554 mm, série histórica de 1954 a 2001 (IAPAR, 2012). Os dados de precipitação pluvial mensal coletados na estação meteorológica da Fundação ABC, bem como a média histórica (IAPAR, 2012), encontram-se no quadro 1.

Os atributos químicos e físicos foram determinados antes da instalação do experimento em quatro profundidades, sendo as médias ponderadas, na camada de 0-20 cm: pH em $\text{CaCl}_2 = 5,4$; $\text{Al}^{3+} = 0 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{H} + \text{Al} = 4,6 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Ca}^{2+} = 5,1 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{Mg}^{2+} = 1,4 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; $\text{K}^+ = 0,23 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; P (Mehlich-1) = 4 mg dm^{-3} ; C = $25,7 \text{ g dm}^{-3}$; $\text{CTC}_{\text{pH } 7} = 11,3 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$; 60 % de saturação por bases; $701,4 \text{ g kg}^{-1}$ de argila; $115,5 \text{ g kg}^{-1}$ de silte; $187,02 \text{ g kg}^{-1}$ de areia; diâmetro médio ponderado de agregados = $2,92 \text{ mm}$; densidade de solo = $1,04 \text{ g cm}^{-3}$; microporosidade = 42,62%; macroporosidade = 16,53%; e condutividade hidráulica saturada = $5,23 \text{ mm h}^{-1}$.

Os tratamentos, distribuídos no delineamento em blocos casualizados (quatro blocos), consistiram de uma testemunha (sem aplicação de dejetos) e três doses de dejetos: 60, 120 e $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo estas doses aplicadas metade no plantio das culturas de inverno e metade nas de verão, em superfície, entre as linhas de plantio e sem incorporação, com regadores

Quadro 1. Precipitação pluviométrica mensal ocorrida em Castro - Paraná no período de maio/2006 a abril/2008 e médias históricas de 1954 a 2001

Mês ⁽¹⁾	2006	2077	2008	História
Janeiro	nd	192,5	103,6	186,5
Fevereiro	nd	168	90	161,0
Março	nd	86	123,8	137,8
Abril	nd	61,8	200,2	101,3
Maio	8,3	87,8	nd	116,3
Junho	23,5	6,5	nd	117,7
Julho	18,5	134	nd	95,8
Agosto	40,5	18,6	nd	78,9
Setembro	132,5	31,8	nd	135,5
Outubro	93,3	54	nd	152,7
Novembro	115,5	119	nd	119,2
Dezembro	91,6	277,8	nd	151,0
Total	524,0	1237,0	518,0	1554,0

⁽¹⁾ IAPAR (2012); nd=não determinado

manuais, num sistema de rotação aveia-preta, milho, aveia-preta e soja. O dejetos aplicado (Quadro 2) foi proveniente de propriedade produtora de gado leiteiro, de sistema confinado, sendo a alimentação baseada em silagem, sal mineral e ração. Foram adicionados via dejetos, para a dose de $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, nos dois anos de experimento, 196 kg ha^{-1} de N total, 76 kg ha^{-1} de P total e 304 kg ha^{-1} de K total. Além da adubação orgânica, aplicou-se adubo mineral (187, 66 e 98 kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente, nos dois anos de experimento), simulando a prática dos agricultores da região, os quais, de modo geral, aplicam adubo mineral independentemente da dose de dejetos. As culturas adubadas foram milho na safra 2006/2007 e soja na safra 2007/2008. Para a cultura do milho foram aplicados 187, 49 e 67 kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente, via formulados 14-28-00 na semeadura e 25-00-25 em cobertura. Para a cultura da soja, aplicaram-se 0, 17 e 31 kg ha^{-1} de N, P e K, respectivamente, via formulado 00-20-20.

As parcelas (3,5 m de largura x 9 m de comprimento) foram instaladas em maio de 2006, com área de $29,75 \text{ m}^2$, delimitadas por chapas galvanizadas de 0,10 m de altura, introduzidas a 0,05 m no solo. Na parte inferior da parcela, as chapas foram dispostas em "V", a fim de canalizar o escoamento superficial para um cano de PVC de 100 mm, que a conduzia para um reservatório com capacidade de $0,06 \text{ m}^3$.

No período de 11/05/2006 (instalação do experimento) até 30/04/2008 foram realizadas 37 coletas, as quais foram feitas após cada chuva que produziu escoamento. A primeira chuva que gerou escoamento, após a instalação do experimento, foi em setembro/2006. O intervalo entre a aplicação do dejetos e a primeira chuva com formação de escoamento foi de 130, 11, 5 e 10 dias, respectivamente para as safras de inverno 2006, verão 2006/2007, inverno 2007 e verão 2007/2008.

Quanto às análises de nutrientes solúveis,

Quadro 2. Matéria seca (MS) e teores totais de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) dos dejetos utilizados nas quatro aplicações ocorridas no período de maio de 2006 a maio de 2008

Data de aplicação	MS ⁽¹⁾	N ⁽²⁾	P ⁽²⁾	K ⁽²⁾
11/05/06	90,5	1,82	0,77	3,46
05/10/06	75,5	1,74	0,61	2,37
04/05/07	43,3	0,95	0,41	1,48
30/11/07	89,6	2,00	0,73	2,80

⁽¹⁾ Teor de matéria seca determinado por gravimetria; ⁽²⁾ Teor em base úmida calculado pelo teor determinado em base seca. O teor de N foi determinado pelo método Dumas por combustão; o teor de P, por digestão com ácido clorídrico e colorimetria; e o K, por digestão com ácido nítrico-clorídrico e espectrofotometria de absorção atômica (Martins & Reissmann, 2007).

procedeu-se à filtragem das amostras em um filtro de membrana de éster de celulose com 0,45 µm. O nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) foram determinados por espectrometria pelo método do ácido clorídrico e pelo método do fenato, respectivamente, sob comprimento de onda de 220 e 275 nm para o NO_3^- e 640 nm para o NH_4^+ (APHA, 1995). O teor de carbono orgânico total (COT) foi determinado nas amostras não filtradas, de acordo com o método de refluxo aberto para determinação da demanda química de oxigênio, modificado por Boyd & Tucker (1992).

A concentração média ponderada foi obtida multiplicando-se a concentração pelo volume de água perdido em cada coleta; esses produtos foram somados, e o resultado dessa soma foi dividido pela perda total de água no período, para cada tratamento.

As perdas de N e CO foram obtidas pela multiplicação da concentração com o volume perdido, em cada evento. A soma das perdas em cada evento resultou no valor de perda acumulada no período, ou seja, maio/2006 a maio/2008. A percentagem de perdas de NO_3^- e NH_4^+ foi calculada considerando a perda acumulada no período de ambas as formas de N. Em razão de o volume coletado não ser suficiente para todas as análises, houve quantidades diferentes de amostras analisadas: 440 para o NH_4^+ , 318 para o NO_3^- e 299 para a determinação de COT.

Foi realizada a análise de variância considerando a regressão para avaliar o efeito das doses de dejetos líquido bovino nas concentrações médias ponderadas e nas perdas acumuladas no período (Gomes, 1987), utilizando-se o software STATGRAPHICS® Centurion VX, versão 15.1.02.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Concentração média ponderada e perda de carbono orgânico total

A aplicação de dejetos líquido bovino não alterou significativamente o comportamento do carbono orgânico total (COT) no escoamento superficial. No entanto, em estudo similar a este, porém em solo de textura franco-argilo-arenosa, Silveira et al. (2011) observaram diferenças significativas; a aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ reduziu em 20 e 89 % a concentração média ponderada e a perda de COT, respectivamente, em relação ao tratamento sem aplicação. Essa diferença de comportamento no CO entre os dois tipos de solo deve-se possivelmente ao efeito positivo nos atributos físicos do solo com a aplicação de dejetos no solo franco-argilo-arenoso (Mellek et al., 2010), diminuindo significativamente as perdas de solo e água e, conseqüentemente, de CO.

As concentrações médias ponderadas de COT (Figura 1a), o qual é constituído por CO solúvel e por CO particulado, apresentaram comportamento

semelhante ao das perdas de solo, as quais também não foram diferentes estatisticamente (Timofiecsyk, 2009), indicando maior contribuição do C associado ao sedimento (fração particulada) em relação à fração solúvel.

A quantidade perdida de C depende da concentração de C no escoamento e também da quantidade perdida de água; de acordo com a figura 1b, as perdas acumuladas de COT mostraram comportamento semelhante ao das perdas de água (Timofiecsyk, 2009), indicando maior efeito da quantidade de água perdida do que da concentração de C. No entanto, as perdas de água, diferentemente das perdas de C, diferiram estatisticamente entre os tratamentos, tendo sido menores na dose de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de dejetos líquido bovino (Timofiecsyk, 2009). Para o tratamento sem aplicação do dejetos, o C perdido é proveniente da matéria orgânica do solo (MOS); apesar da não adição de dejetos, este tratamento apresentou a maior perda acumulada de C (Figura 1b). Isso ocorreu devido à maior perda de água neste tratamento (Timofiecsyk, 2009). Esses resultados evidenciam que em áreas com PD, mesmo sem aplicação de dejetos, práticas conservacionistas deveriam ser utilizadas a fim de conter o escoamento na própria lavoura, evitando a entrada de contaminantes associados ao escoamento em cursos de água (Bertol et al., 2005; Shigaki et al., 2006).

A presença de CO na água gera problemas, uma vez que ele será mineralizado, reduzindo o O_2 dissolvido. Além disso, a mineralização da MOS está associada com a disponibilização de N e P (Eghball et al., 2002). Para C solúvel, a preocupação refere-se à formação de compostos cancerígenos no processo de cloração, em sistemas de tratamento de água (Kay et al., 2009).

Concentração média ponderada e perdas de N- NO_3^- e N- NH_4^+

As concentrações médias ponderadas de N tanto na forma de NO_3^- como de NH_4^+ (Figuras 1c,e) foram maiores com a aplicação de dejetos, atingindo valores máximos na maior dose ($180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o que ilustra o potencial poluidor de resíduos orgânicos, principalmente os aplicados na superfície do solo, em áreas agrícolas sob PD (Smith et al., 2001; Allen & Mallarino, 2008; Silveira et al., 2011). As concentrações médias ponderadas de NH_4^+ em todos os tratamentos, inclusive o sem aplicação de dejetos, ultrapassaram o limite permitido pela legislação (CONAMA, 2005), a qual estabelece o limite de N- NH_4^+ de $3,7 \text{ mg L}^{-1}$ para um pH em água de aproximadamente 7,5. Considerando o limite permitido de NO_3^- (10 mg L^{-1} de N- NO_3^-) (Brasil, 2004; Conama, 2005), observa-se que até a dose de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ a concentração média ponderada de NO_3^- , na água do escoamento superficial, está abaixo do limite máximo permitido por legislação; no entanto, a dose máxima de dejetos líquido bovino ultrapassou em 36,4 % este limite. Apesar dos baixos

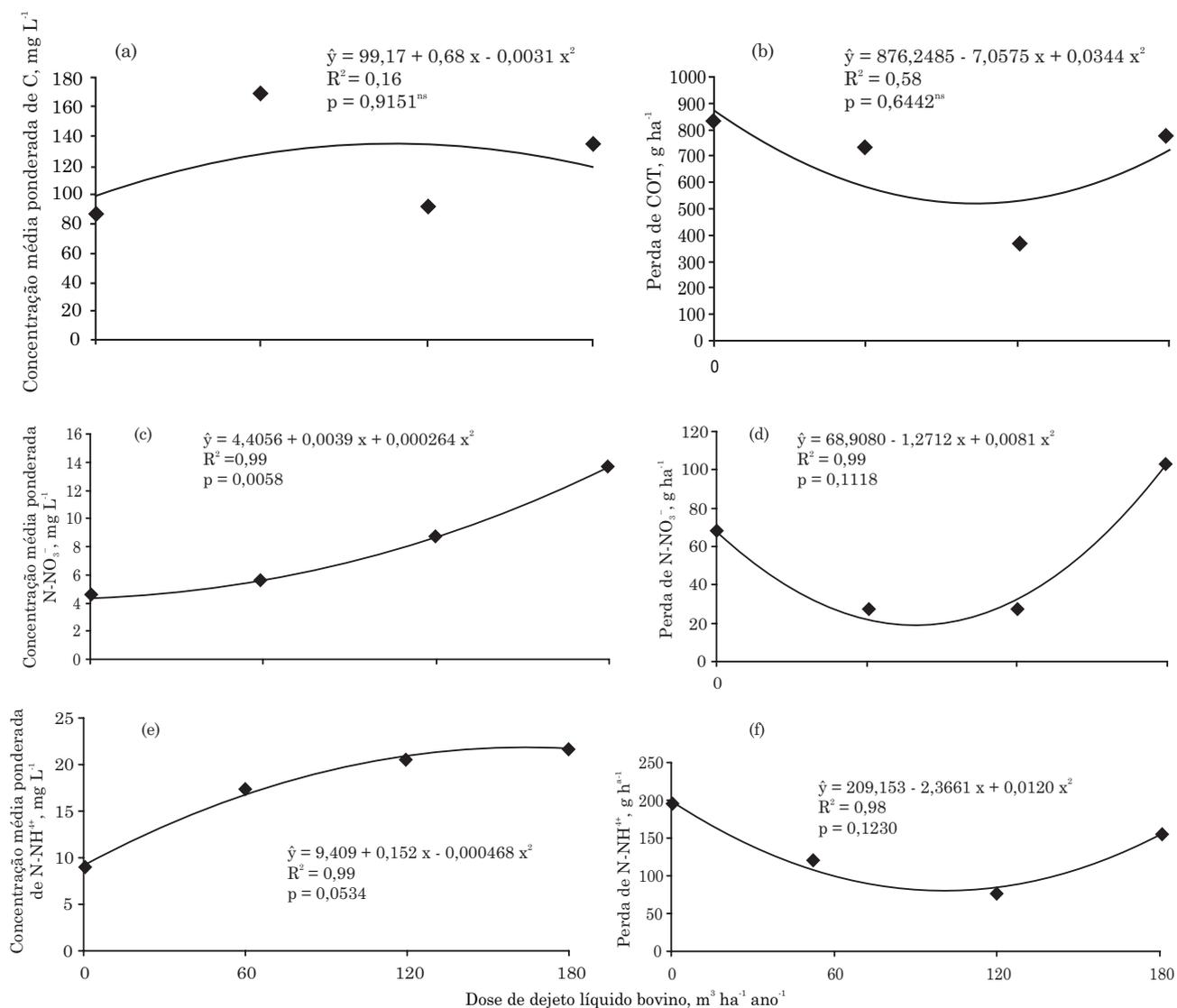


Figura 1. Concentração média ponderada de carbono orgânico total (a), de N-nitrato (c), de N-amônio (e) e perda de carbono total (b), de N-Nitrato (d), de N-amônico (f) em escoamento superficial com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo Bruno muito argiloso sob plantio direto e chuva natural no período de maio de 2006 a maio de 2008.

valores de média ponderada, é interessante ressaltar que a concentração de NO₃⁻, em várias amostras, ultrapassou o limite permitido pela legislação, mesmo no tratamento sem dejetos, mostrando o potencial poluidor desse sistema de produção e a necessidade de práticas conservacionistas a fim de controlar o escoamento e evitar a entrada deste em corpos de água.

No entanto, apesar do aumento das concentrações, as perdas acumuladas de NO₃⁻ (Figura 1d) e NH₄⁺ (Figura 1f) reduziram com a aplicação de dejetos até a dose de 120 m³ ha⁻¹ ano⁻¹, estando positivamente relacionadas com as perdas de água (Timofiecsyk, 2009); isso está de acordo com os dados de Ceretta et al. (2005) e Mori et al. (2009), indicando ser essa a melhor dose de aplicação, pois evita problemas

ambientais e ao mesmo tempo possibilita a reciclagem de resíduos orgânicos em áreas agrícolas.

A aplicação de dejetos em longo prazo promove a melhoria da estrutura física do solo e, em consequência, aumento da infiltração e redução de perdas de solo e água (Mellek et al., 2010); contudo, em curto prazo, a aplicação de dejetos líquidos pode propiciar selamento superficial e impedir a infiltração de água no solo (Oliveira et al., 2000; Mori et al., 2009), aumentando consequentemente as perdas de água e nutrientes (Smith et al., 2001).

Comparando as quantidades perdidas de NH₄⁺ e de NO₃⁻ (Figura 2), observam-se maiores perdas de NH₄⁺ do que de NO₃⁻ - comportamento também observado por Silveira et al. (2011). Isso ocorreu,

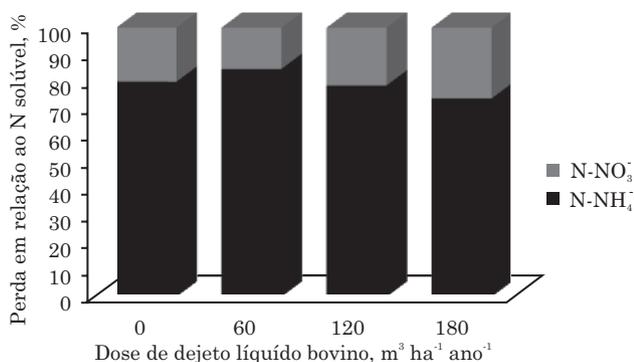


Figura 2. Relação das perdas de N-nitrato e N-amônio em escoamento superficial com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo Bruno muito argiloso sob plantio direto e chuva natural no período de maio de 2006 a maio de 2008.

provavelmente, devido à maior aplicação de NH_4^+ do que de NO_3^- via dejetos e também pela dinâmica desses elementos no solo. Estima-se que nos dejetos armazenados anaerobicamente - e portanto sem possibilidade de nitrificação - cerca de 70 % do N inorgânico esteja na forma amoniacal, ou seja, $\text{N-NH}_4^+ + \text{N-NH}_3^-$ (Scherer et al., 1996). Além disso, o NH_4^+ tende a ser adsorvido nas partículas e, assim, perde-se mais por processos erosivos, enquanto o NH_3 , em razão da sua baixa reatividade e alta mobilidade, é preferencialmente perdido por lixiviação (Sposito, 1989). A maior perda de NH_3^- foi na dose de $180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, evidenciando que ele, além de ser perdido por lixiviação, também pode ser perdido pela erosão via escoamento superficial. Esse fato pode ser explicado pela alta concentração de compostos gordurosos nos dejetos (Dinel et al., 1998), o que dificulta a infiltração de água no solo, propiciando maior volume do escoamento superficial potencialmente rico em nutrientes. No tratamento sem aplicação de dejetos observam-se também elevadas perdas, o que evidencia o potencial de transporte de nutrientes em sistemas de plantio direto devido ao acúmulo destes na superfície do solo (Bertol et al., 2007b).

CONCLUSÕES

1. A aplicação do dejetos líquidos bovinos diminuiu as quantidades perdidas de amônio e nitrato até a dose de $120 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, o que indica ser esta a dose máxima recomendada para solo muito argiloso, declive moderadamente ondulado, baixas precipitações pluviais e com no mínimo uma semana de intervalo entre a aplicação do dejetos e a ocorrência de chuvas. O potencial poluidor pode aumentar com sucessivas aplicações, havendo a necessidade de estudos superiores a dois anos de aplicação.

2. As concentrações de amônio estiveram muito acima do máximo permitido pela legislação em todos

os tratamentos, indicando a necessidade de técnicas conservacionistas que aumentem a infiltração do escoamento superficial na área agrícola, mesmo em plantio direto, evitando assim a entrada de contaminantes associados ao escoamento no sistema aquático.

LITERATURA CITADA

- ALLEN, B.L. & MALLARINO, A.R. Effect of liquid swine manure rate, incorporation, and timing of rainfall on phosphorus loss with surface runoff. *J. Environ. Qual.*, 37:125-137, 2008.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA. Standard methods for the examination of water and wastewater. 19.ed. Washington D.C., American Public Health Association, 1995.
- BERTOL, O.J.; PAULETTI, V. & DIECKOW, J. A transferência de tecnologia em manejo e conservação do solo e da água. *Bol. Inf. SBCS*, 37:26-31, 2012.
- BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; FAVARETTO, N. & LAVORANTI, O.J. Perdas de nitrogênio via superfície e subsuperfície em sistema de semeadura direta. *R. Flor.*, 35:429-443, 2005.
- BERTOL, O.J.; RIZZI, N.E.; BERTOL, I. & ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:781-792, 2007a.
- BERTOL, I.; ENGEL, F.L.; MAFRA, A.L.; BERTOL, O.J. & RITTER, S.R. Phosphorus, potassium and organic carbon concentrations in runoff water and sediments under different soil tillage systems during soybean growth. *Soil Tillage Res.*, 94:142-150, 2007b.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS nº 518/2004. Brasília, 2004.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução CONAMA nº 357. Diário Oficial da União de 18 de março de 2005. Brasília, 2005.
- BOYD, C. & TUCKER, C. Water quality and pond soil analyses for aquaculture. Alabama, Auburn University, 1992. 183p.
- CERETTA, C.A.; BASSO, C.J.; VIEIRA, F.C.B.; BARCELLOS, L.A.R.; HERBES, M.G.; MOREIRA, I.C.L. & BERWANGER, A.L. Dejetos líquidos de suínos: I - Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ci. Rural*, 35:1296-1304, 2005.
- COGO, N.P.; LEVIEN, R. & SCHWARZ, R.A. Perda de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *R. Bras. Ci. Solo*, 27:743-753, 2003.
- CORRELL, D.L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review. *J. Environ. Qual.*, 27:261-266, 1998.

- DANIEL, T.C.; SHARPLEY, A.N. & LEMUNYON, J.L. Agricultural phosphorus and Eutrophication: A Symposium Overview. *J. Environ. Qual.*, 27:251-257, 1998.
- DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KOPKE, U. Controle da erosão no Paraná, Brasil: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, 1991. 272p.
- DINEL, H.; SCHNITZER, M. & SCHULTEN, H.R. Chemical and spectroscopic characterization of colloidal fractions separated from liquid hog manures. *Soil Sci.*, 163:665-673, 1998.
- DINNES, D.L.; KARLEN, D.L.; JAYNES, D.B.; KASPAR, T.C.; HATFIELD, J.L.; COLVIN, T.S. & CAMBARDELLA, C.A. Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained midwestern soils. *Agron. J.*, 94:153-171, 2002.
- EGHBALL, B.; WIENHOLD, B.J.; GILLEY, J.E. & EIGENGERG, R.A. Mineralization of manure nutrients. *J. Soil Water Conserv.*, 57:470-473, 2002.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA/Fundação ABC. Mapa do levantamento semidetalhado de solos: Município de Castro. Castro, PR. 2001.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. Piracicaba, USP-ESALQ, 1987. 467p.
- HOODA, P.S.; EDWARDS, A.C.; ANDERSON, H.A. & MILLER, A. A review of water quality concerns in livestock farming areas. *Sci. Total Environ.*, 250:143-147, 2000.
- INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. Monitoramento agroclimático. Disponível em: <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Ponta_Grossa.htm>. Acesso em julho de 2012.
- KAY, P.; EDWARDS, A.C. & FOULGER, M. A review of the efficacy of contemporary agricultural stewardship measures for ameliorating water pollution problems of key concern to the UK water industry. *Agric. Syst.*, 99:67-75, 2009.
- MARTINS, A.P.L. & REISSMANN, C.B. Material vegetal e as rotinas laboratoriais nos procedimentos químico-analíticos. *Sci. Agric.*, 8:1-17, 2007.
- MELLEK, J.E.; DIECKOW, J.; SILVA, V.L.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. & SOUZA, J.L. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil Tillage Res.*, 110:69-76, 2010.
- MORI, H.F.; FAVARETTO, N.; PAULETTI, V.; DIECKOW, J. & SANTOS, W.L. Perdas de água, solo e fósforo com aplicação de dejetos líquidos bovinos em Latossolo sob plantio direto e chuva simulada. *R. Bras. Ci. Solo*, 33:189-198, 2009.
- OLIVEIRA, R.A.; CAMPELO, P.L.G.; MATOS, A.T.; MARTINEZ, M.A. & CECON, P.R. Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. *R. Bras. Eng. Agríc. Amb.*, 4:263-267, 2000.
- POTE, D.H.; DANIEL, T.C.; NICHOLS, D.J.; SHARPLEY, A.N.; MOORE, P.A.; MILLER, D.M. & EDWARDS, D.R. Relationship between phosphorus levels in three Ultisols and phosphorus concentrations in runoff. *J. Environ. Qual.*, 28:170-175, 1999.
- RESCK, D.V.S.; FIGUEIREDO, M.S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M. & SILVA, T.C.A. Intensidade de perdas de nutrientes em um Podzólico Vermelho-Amarelo, utilizando-se simulador de chuva. *R. Bras. Ci. Solo*, 4:188-192, 1980.
- SCHERER, E.E.; AITA, C. & BALDISSERA, I.T. Avaliação da qualidade do esterco líquido de suínos na região oeste catarinense para fins de utilização como fertilizante. Florianópolis, EPAGRI, 1996. (Boletim Técnico, 79)
- SHARPLEY, A.N.; CHAPRA, S.C.; WEDEPOHL, R.; SIMS, J.T.; DANIEL, T.C. & REDDY, K.R. Managing agricultural phosphorus for protection of surface waters: Issues and options. *J. Environ. Qual.*, 23:437-451, 1994.
- SHARPLEY, A.N. Identifying sites vulnerable to phosphorus loss in agricultural runoff. *J. Environ. Qual.*, 24:947-951, 1995.
- SHIGAKI, F.; SHARPLEY, A.N. & PROCHNOW, L.I. Animal-based agriculture, phosphorus management and water quality in Brazil: options for the future. *Sci. Agric.*, 63:194-209, 2006.
- SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; SCHAEFER, C.E.G.R.; AMORIM, R.S.S. & PAIVA, K.W.N. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. *Eng. Agríc.*, 25:409-419, 2005.
- SILVEIRA, F.M.; FAVARETTO, N.; DIECKOW, J.; PAULETTI, V.; VEZZANI, F.M. & SILVA, E.D. Dejetos líquidos bovinos em plantio direto: Perda de carbono e nitrogênio por escoamento superficial. *R. Bras. Ci. Solo*, 35:1759-1767, 2011.
- SMITH, S.J.; SCHEPERS, J.S. & PORTER, L.K. Assessing and managing agricultural nitrogen losses to the environment. In: STEWART, B.A., ed. *Advances in soil science*. Chelsea, Lewis Publishers, 1990. v.14. p.1-43.
- SMITH, V.H.; TILMAN, G.D. & NEKOLA, J.C. Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environ. Poll.*, 100:179-196, 1999.
- SMITH, K.A.; JACKSON, D.R. & PEPPER, T.J. Nutrient losses by surface run-off following the application of organic manures to arable land. I. Nitrogen. *Environ. Poll.*, 112:41-51, 2001.
- SPOSITO, G. *The chemistry of soils*. New York, Oxford University Press, 1989. 277p.
- TIMOFIECSYK, A. Perdas de água, solo e nutrientes com aplicação de dejetos líquidos bovinos sob plantio direto e chuva natural em Latossolo Bruno. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 2009. (Tese de Mestrado)