



Perda de fósforo por percolação em área sob sistema de plantio direto e submetida a sucessivas aplicações de fontes orgânica e mineral de nutrientes⁽¹⁾

Lucas Antonio Telles Rodrigues⁽²⁾; Carlos Alberto Ceretta⁽³⁾; Alessandra Bacca⁽⁴⁾; Paulo Ademar Avelar Ferreira⁽⁵⁾; Renan Fagan Vidal⁽⁶⁾; Adriele Tassinari⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos do CNPq, FAPERGS e CAPES

⁽²⁾ Mestrando em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; Santa Maria, RS; lucasatr2009@hotmail.com;

⁽³⁾ Professor Dr. Tit.; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁴⁾ Doutoranda em Ciência do Solo; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁵⁾ Pós Doutorando em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁶⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria; ⁽⁷⁾ Graduando em Agronomia; Universidade Federal de Santa Maria.

RESUMO: Aplicações sucessiva de dejetos em uma mesma área por longo período podem ocasionar perda de P por escoamentos superficial e/ou por percolação, causando contaminação ambiental. Objetivou-se avaliar a transferência de P na solução percolada em área com sucessivas aplicações de fontes orgânica e mineral de nutrientes. O estudo foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Solos da UFSM. Os tratamentos foram: Aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS); cama sobreposta de suínos (CSS); Dejetos líquidos de bovinos (DLB); Adubação mineral (NPK) e um tratamento controle. A dose de cada fonte a ser aplicada foi determinada com base no manual de adubação e calagem. Durante os anos agrícolas de 2009 a 2012 utilizou-se a sucessão de aveia preta e milho e nos anos de 2012 a 2013 a sucessão aveia preta e feijão preto. Foram instalados lisímetros a 70 cm de profundidade para coleta da solução percolada. Para o P_{sol} foram transferidos 0,12; 0,94; 1,82; 0,46 e 0,24 kg ha⁻¹ e para o P_{part} foram transferidos 0,32; 0,95; 1,67; 1,33 e 0,77 kg ha⁻¹, nos tratamentos DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Aplicações sucessivas de fontes orgânicas e mineral de nutrientes em uma mesma área ao longo de oito cultivos ocasionaram aumento nos teores de fósforo disponível no solo e transferência de diferentes formas de P por percolação, porém as maiores perdas ocorreram na forma solúvel, com aplicação de CSS.

Termos de indexação: Adubação, contaminação ambiental, resíduos de animais.

INTRODUÇÃO

As atividades pecuárias da bovinocultura de leite e suinocultura tem demonstrado forte crescimento nos últimos anos na região Sul do Brasil. Em função dos sistemas de criação adotados, um grande volume de dejetos é produzido.

O uso desses dejetos em áreas agrícolas como biofertilizantes é uma prática bem difundida e aceita

entre os produtores rurais, chegando a muitos casos substituir quase que totalmente o uso de fertilizantes minerais. Isso ocorre frente aos inúmeros benefícios proporcionados pelos dejetos de animais como, o aumento da produtividade das culturas (Ceretta et al., 2005a; Ciancio et al., 2014) devido as elevadas quantidades de nutrientes aplicados.

No entanto disposições intensivas desses resíduos podem causar um acúmulo excessivo de nutrientes, com destaque para o fósforo (P), principalmente nas camadas mais superficiais do solo (Lourenzi et al., 2013) potencializando assim perdas por percolação (Giroto et al., 2013). Tais perdas ocorrem devido que com o acúmulo de P, os grupos funcionais solo ficam saturadas diminuindo a energia de ligação do P com estes, favorecendo por um lado a sua disponibilidade para a planta, mas por outro lado facilitando ser perdido (Gessel et al., 2004).

A transferência de P está diretamente dependente da quantidade aplicada via dejetos, o intervalo de tempo entre a aplicação e a primeira chuva, tipo de solo, do teor no solo, da frequência e do volume de água das precipitações, bem como do sistema de cultivo e da capacidade de exportação das plantas (Ceretta et al., 2005; Ceretta et al., 2010).

As transferências de P via escoamento superficial e percolação em áreas com aplicação de dejetos tem sido estudadas no Brasil, no entanto se restringem a perdas pelo uso de somente dejetos de suínos e doses desses dejetos (Basso et al., 2005; Ceretta et al., 2005b). No entanto, considerando o alto impacto do P na contaminação de águas subterrâneas, estudos com uso de diferentes fontes orgânicas em áreas de plantio direto com histórico de aplicação é importante para a região.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a transferência de P na solução percolada em uma área submetida a aplicações sucessivas de fontes orgânica e mineral de nutrientes e manejada sob sistema plantio direto.



MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na área experimental do Departamento de Solos da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), em Santa Maria, RS. O clima da região é subtropical úmido, tipo Cfa 2 segundo classificação de Köppen, com temperatura média anual de 19,3°C, precipitação média anual de 1561 mm e umidade relativa de 82%. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico, com as principais características na camada de 0-10 cm antes da implantação do experimento: 55,6 g kg⁻¹ de argila; 22 g kg⁻¹ de matéria orgânica; pH em água de 4,65; 23,91 mg kg⁻¹ de P (extraído por Mehlich⁻¹) e saturação por bases 9,37%.

O experimento foi instalado no ano de 2004 em área sob sistema de plantio direto utilizando a sucessão de culturas de aveia preta (*Avena strigosa*) e milho (*Zea mays* L.). O período de avaliação desse estudo foi de novembro de 2009 a outubro de 2013. Nos anos agrícolas de 2009/2010 a 2011/2012 utilizou-se sucessão milho e aveia preta, e em 2012/2013 a sucessão feijão preto (*Phaseolus vulgaris* L.) /aveia preta.

Os tratamentos consistiram da aplicação de dejetos líquidos de suínos (DLS); Dejetos líquidos de bovino (DLB), esses compostos por fezes, urina, restos alimentares e água da lavagem de instalações; Cama sobreposta de suínos (CSS), composto por resíduos de beneficiamento de arroz, fezes, urina e restos alimentares; Adubação mineral (NPK) (uréia + superfosfato triplo + cloreto de potássio) e um tratamento controle. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com quatro repetições e parcelas com dimensões de 5 X 5 m (25 m²).

Realizou-se digestão ácida dos dejetos para determinação dos teores de N, P e K, conforme Tedesco et al. (1995), e a dose de dejetos a ser aplicada antes da implantação da cultura, conforme a recomendação da CQFS – RS/SC (2004).

A aplicação das fontes de nutrientes foi realizada na superfície do solo antes da semeadura das culturas. Desde o início do experimento até o ano agrícola de 2012/2013 foram aplicadas as seguintes quantidades de fósforo: 460,2 kg ha⁻¹ de P via DLS; 1111,1 kg ha⁻¹ de P via CSS; 504,8 kg via DLB; 535 kg ha⁻¹ de P via fertilizante mineral. Durante o período de avaliação do presente estudo foram aplicados um total 308, 422, 261 e 141 kg ha⁻¹ de P, nos tratamentos DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente.

Para determinação da solução percolada, dois lisímetros de tensão zero foram instalados a 70 cm de profundidade do solo em cada parcela. Os lisímetros possuem dimensões de 60 x 40 cm e

foram confeccionados utilizando-se chapas de PVC com espessura de 4,0 mm. Cada lisímetro foi conectado por uma mangueira a um recipiente armazenador com capacidade de 5 litros, sendo a declividade da área experimental em torno de 3%.

Após cada precipitação a solução foi coletada, mensurada e uma alíquota foi levada ao laboratório para posterior análise. Para a determinação dos teores de fósforo solúvel (P-solúvel), uma alíquota de 40 a 50 ml da solução coletada foi filtrada em membrana de 0,45 µm, segundo metodologia proposta por Silva et al. (1999). Os teores de fósforo total (P-total) foram determinados através de digestão nitroperclórica das amostras, segundo metodologia APHA (2005). Os teores de P-solúvel e P-total na solução foram determinados por colorimétrica (Murphy & Riley, 1962) e os teores de fósforo particulado (P-particulado) foram obtidos pela diferença entre o P-total e P-solúvel, conforme metodologia descrita por Haygarth & Sharpley (2000).

Quando significativos, os resultados foram comparados pelo teste de Scott-Knott a 5 % de probabilidade de erro. Posteriormente realizou-se análise estatística de Correlação de Pearson entre a quantidade de fósforo aplicado, fósforo disponível e o volume da solução escoada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As transferências de solução percolada no perfil do solo foram variáveis durante o período avaliado. Em todos os cultivos foram observadas grandes variações no volume de solução percolada no solo, com valores variando de 39 m³ ha⁻¹, no tratamento DLS do milho 2011/2012, até 1431 m³ ha⁻¹, no tratamento NPK da aveia 2010 (**Tabela 1**), podendo estar associados ao volume total precipitado durante os cultivos, visto que no cultivo do milho 2011/2012 houve uma precipitação de 4103 m³ ha⁻¹, enquanto que na aveia 2010 o volume total precipitado foi de 6738 m³ ha⁻¹.

Cabe destacar que a intensidade das precipitações também é um fator importante que governa o volume de solução percolada (Mellek et al., 2010). Isso pode ser observado quando comparados os cultivos do milho 2009/2010 e do milho 2010/2011.

As maiores transferências de P solúvel (P_{sol}), P particulado (P_{part}) e P total (P_{total}) na solução percolada durante o período de avaliação do presente estudo foram observadas, normalmente, nos solos submetidos às aplicações de DLS e CSS.

Apesar de serem esses os tratamentos que receberam as maiores quantidades de P esse fator não apresentou correlação com as quantidades das formas de P transferidas por percolação. Entretanto,



as quantidades de P aplicadas apresentam correlação com os teores de P disponíveis no solo e esses com as transferências das formas de P por percolação. Isso ocorre porque as aplicações sucessivas de P ao solo fazem com que ocorra um aumento nos teores de P, especialmente, em frações mais lábeis no solo, como observado por Guardini et al. (2012). Dessa forma, pode ocorrer a migração de P no perfil do solo (Lourenzi et al., 2013).

Para o P_{sol} foram transferidos 0,12; 0,94; 1,82; 0,46 e 0,24 kg ha⁻¹ por percolação durante os oito cultivos avaliados para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente. Já para o P_{part} foram transferidos 0,32; 0,95; 1,67; 1,33 e 0,77 kg ha⁻¹ durante os oito cultivos avaliados para o solo controle e com aplicação de DLS, CSS, DLB e NPK, respectivamente (**Tabela 1**). Esses resultados mostram, em termos percentuais, as maiores transferências de P ocorreram na forma solúvel, demonstrando estreita correlação entre os teores de P disponível no solo e os teores de P_{sol} transferidos por percolação. Resultados semelhantes foi observado por Basso et al. (2005) que encontraram baixos valores de P transferido por percolação e atribuíram isso a alta reatividade e acúmulo do P nas camadas superficiais do solo.

CONCLUSÕES

Aplicações sucessivas de fontes orgânicas e mineral de nutrientes em uma mesma área ao longo dos oito cultivos avaliados ocasionaram aumento nos teores de fósforo disponível no solo e transferência de P por percolação, porém as maiores perdas ocorreram na forma solúvel, com aplicação de CSS.

REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the Examination of water and wastewater. 21th. Denver. CP:AWWA 2005.

BASSO, C.J. et al. Dejeito líquido de suínos: II-Perdas de nitrogênio e fósforo por percolação no solo sob plantio direto. *Ciência Rural*, Santa Maria, RS, 2005; 35:1305-1312.

CIANCIO, N.R. et al. Crop response to organic fertilization with supplementary mineral nitrogen. *Rev. Bras. Ciência do Solo*. Vol.38, n.3, p. 912-922. 2014.

CERETTA, C. A. et al. Produtividade de grãos de milho, produção de MS e acúmulo de nitrogênio, fósforo e potássio na rotação aveia preta/milho/nabo forrageiro

com aplicação de dejeito líquido de suínos. *Ciência rural*, Santa Maria, RS, 2005a; 35:1287.

CERETTA, C.A. et al. Dejeito líquido de suínos: I-Perdas de nitrogênio e fósforo na solução escoada na superfície do solo, sob plantio direto. *Ciência rural*, Santa Maria, RS 2005; 35:1296-1304.

CERETTA, C.A. et al. Nutrient transfer by runoff under no tillage in a soil treated with successive applications of pig slurry. *Agric Ecosyst Environ*, 2010; 139:689-699.

CQFS-RS/SC – COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10. ed. Porto Alegre: SBCS: NRS: UFRGS, 2004. 400 p.

EMBRAPA SOLOS. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília-DF, 2013, 3 ed. 353p.

GIROTTO, E. et al. Nutrient transfers by leaching in a no-tillage system through soil treated with repeated pig slurry applications. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.*, 2013; 95:115-131.

GESSEL, P. D. et al. Rate of fall-applied liquid swine manure: effects on runoff transport of sediment and phosphorus. *Journal of Environmental Quality*, 2004; 33:1839-1844.

GUARDINI, R. et al. Accumulation of phosphorus fractions in typic Hapludalf soil after long-term application of pig slurry and deep pig litter in a no-tillage system. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2012; 93:215-225

HAYGARTH, P. M. & SHARPLEY, A. N. Terminology for phosphorus transfer. *J. Environ. Qual.* 2000; 29:10-15.

LOURENZI, C.R. et al. Nutrients in layers of soil under no-tillage treated with successive applications of pig slurry. *Rev. Bras. Cienc. Solo*, 2013; 37:157-167.

MELLEK, J. E. et al. Dairy liquid manure and no-tillage: Physical and hydraulic properties and carbon stocks in a Cambisol of Southern Brazil. *Soil & Tillage Research*, 2010; 110:69-76

MURPHY, J. & RILEY, J.P., A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 1962; 27:31-36.

SILVA, F.C. (Org.). Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. Brasília:Embrapa, 1999. 370p.

TEDESCO M.J. et al. Análises de solo, plantas e outros materiais. 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5). 2000.



Tabela 1. Precipitação total e transferência de solução, P-solúvel, P-particulado e P total por percolação nos cultivos de aveia preta, milho e feijão preto, em um Argissolo Vermelho submetido à aplicação de fontes orgânicas e mineral de nutrientes.

Tratamentos	Quantidades transferidas					Perdas percentuais ⁽²⁾		
	Solução ----- m ³ ha ⁻¹ -----	Precipitação	P _{sol.} ----- Kg ha ⁻¹ -----	P _{part.}	P _{total}	P _{sol.}	P _{part.}	P _{total}
Milho 2009/2010								
Controle	233,00	10959,00	0,01c ¹	0,04b	0,05b			
DLS ⁽³⁾	68,00	10959,00	0,12a	0,23b	0,36b	0,38	0,66	1,07
CSS ⁽⁴⁾	202,00	10959,00	0,08b	0,62a	0,71a	0,13	1,05	1,20
DLB ⁽⁵⁾	143,00	10959,00	0,03c	0,10b	0,14b	0,07	0,22	0,33
NPK ⁽⁶⁾	218,00	10959,00	0,03c	0,09b	0,13b	0,08	0,19	0,31
Aveia 2010								
Controle	744,00	6738,00	0,017b	0,047c	0,064c			
DLS	682,00	6738,00	0,010b	0,044c	0,054c	0,00	0,00	0,00
CSS	1101,00	6738,00	0,219a	0,126b	0,345a	0,75	0,29	1,04
DLB	722,00	6738,00	0,022b	0,069c	0,091c	0,06	0,28	0,34
NPK	1431,00	6738,00	0,024b	0,158a	0,183b	0,05	0,85	0,91
Milho 2010/2011								
Controle	81,00	4516,00	0,002c	0,020a	0,022c			
DLS	43,00	4516,00	0,004c	0,014a	0,018c	0,00	0,00	0,00
CSS	542,00	4516,00	0,193a	0,011b	0,205a	0,19	0,00	0,18
DLB	213,00	4516,00	0,022b	0,019a	0,041b	0,04	0,00	0,04
NPK	190,00	4516,00	0,002c	0,004c	0,005d	0,00	0,00	0,00
Aveia 2011								
Controle	212,00	7015,00	0,00b	0,08a	0,08b			
DLS	204,00	7015,00	0,06b	0,22a	0,28b	0,32	0,74	1,05
CSS	404,00	7015,00	0,34a	0,50a	0,85a	1,42	1,75	3,21
DLB	212,00	7015,00	0,02b	0,61a	0,64a	0,06	1,66	1,75
NPK	278,00	7015,00	0,01b	0,36a	0,37b	0,08	2,14	2,21
Milho 2011/2012								
Controle	57,00	4103,00	0,00c	0,03c	0,03c			
DLS	39,00	4103,00	0,06a	0,19b	0,26b	0,19	0,50	0,72
CSS	71,00	4103,00	0,08a	0,24a	0,32a	0,23	0,60	0,83
DLB	65,00	4103,00	0,02b	0,06c	0,08c	0,04	0,06	0,09
NPK	125,00	4103,00	0,02b	0,03c	0,05c	0,08	0,00	0,08
Aveia 2012								
Controle	117,00	8586,00	0,02d	0,03a	0,05d			
DLS	81,00	8596,00	0,29b	0,07a	0,36b	1,69	0,25	1,94
CSS	187,00	8596,00	0,44a	0,04a	0,48a	5,25	0,13	5,38
DLB	147,00	8596,00	0,14c	0,04a	0,18c	1,33	0,11	1,44
NPK	236,00	8596,00	0,06d	0,05a	0,08d	0,31	0,15	0,23
Feijão 2012/2013								
Controle	253,00	10252,00	0,04b	0,04b	0,08b			
DLS	200,00	10252,00	0,36a	0,11b	0,48a	0,74	0,16	0,93
CSS	262,00	10252,00	0,38a	0,06b	0,45a	0,50	0,03	0,54
DLB	405,00	10252,00	0,17b	0,34a	0,52a	0,27	0,63	0,92
NPK	453,00	10252,00	0,06b	0,05b	0,11b	0,08	0,09	0,27
Aveia 2013								
Controle	261,00	9920,00	0,03a	0,03a	0,06a			
DLS	188,00	9920,00	0,04a	0,07a	0,11a	0,03	0,14	0,17
CSS	251,00	9920,00	0,09a	0,07a	0,16a	0,15	0,10	0,26
DLB	195,00	9920,00	0,04a	0,09a	0,13a	0,03	0,18	0,21
NPK	203,00	9920,00	0,03a	0,03a	0,06a	0,00	0,00	0,00

⁽¹⁾ Médias seguidas de letras iguais, nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade de erro. ⁽²⁾ Representa a porcentagem de solução transferida por percolação em relação a precipitação total ocorrida no período e a porcentagem de fósforo transferidos em relação ao total aplicado, descontando a quantidade transferida no tratamento sem aplicação; ⁽³⁾ Dejetos líquidos de suínos; ⁽⁴⁾ Cama sobreposta de suínos; ⁽⁵⁾ Dejetos líquidos de bovinos; ⁽⁶⁾ Adubação mineral.