

## II-130 - AVALIAÇÃO DA ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM SOLO TRATADO COM LODO DE FOSSA SÉPTICA

**Thiago Luiz Etto<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela PUC-Campinas. Mestrando em Engenharia Civil (Área de Concentração: Saneamento e Ambiente) pela FEC/UNICAMP.

**Danielle Tonon Dominato**

Química pela UNESP. Mestra, Doutora e Pós-Doutoranda em Engenharia Civil (Área de Concentração: Saneamento e Ambiente) pela FEC/UNICAMP.

**Adriano Luiz Tonetti**

Engenheiro Químico pela UNICAMP. Mestre e Doutor em Engenharia Civil (Área de Concentração: Saneamento e Ambiente) pela FEC/UNICAMP. Professor Doutor na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP.

**Bruno Coraucci Filho**

Engenheiro Civil pela UNICAMP. Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC/USP. Doutor em Engenharia Civil pela EPUSP. Professor Titular na Faculdade de Engenharia Civil, , Arquitetura e Urbanismo, da UNICAMP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Albert Einstein, 951 - Cidade Universitária - Campinas - SP - CEP: 13083-970 - Brasil - Tel: (19) 9188-2411 - e-mail: thiago\_etto@yahoo.com.br

### RESUMO

Devido a crescente preocupação ambientais é esperado um aumento no número de estações de tratamento de esgoto bem como do uso e aprimoramento de sistemas fossas-filtros em pequenas comunidades e, consequentemente, dos resíduos por essas gerados. A destinação para estes resíduos pode ser a sua incorporação no solo desde que a carga de elementos tóxicos e de compostos - que podem provocar danos ambientais - sejam observados. Atualmente, a incorporação de lodo é calculada com base somente no teor de nitrogênio, sem considerar a quantidade adicional de fósforo necessário à cultura agrícola, uma vez que estes resíduos apresentam baixa concentração deste elemento químico. Apesar de esse elemento ser essencial para o desenvolvimento dos vegetais, seu aporte excessivo no meio ambiente pode ocasionar impactos ambientais, especialmente em ambientes aquáticos, onde o elemento provoca a eutrofização.

A incorporação do lodo no solo é interessante devido sua capacidade de melhorar diversas propriedades químicas, físicas e biológicas. Dentre as propriedades que são beneficiadas pela incorporação do lodo, são descritos na literatura, o aumento da disponibilidade de micronutrientes, a elevação do pH, o aumento da capacidade de troca catiônica, a melhoria da saturação por bases e condutividade elétrica, a redução do alumínio trocável, a redução da erosão, o aumento da concentração da matéria orgânica, o aumento da retenção de umidade, aumento da permeabilidade e da infiltração no solo. O presente trabalho propõe avaliar a dinâmica de adsorção do fósforo em solo argilo arenoso, que atualmente é utilizado para o cultivo de roas, incorporado com lodo de fossa séptica. Pelos resultados obtidos verificou-se que a quantidade de sítios de adsorção de fósforo no solo não é significativamente alterado pela adição de lodo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Macronutrientes, Agricultura, Biossólidos.

### INTRODUÇÃO

O lodo de esgoto apresenta uma composição variada dependendo das características do efluente e método de tratamento (ANDREOLI; VON SPERLING; FERNANDES, 2010). Sabe-se que grande parte do lodo é composto por matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e potássio, além de diversos macronutrientes (Mg, S e Ca) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Zn, Mo, Cl, Co, Si, Mn e Na) (MUNHOZ; BERTON, 2006). Assim a utilização de lodo de esgoto na agricultura torna-se interessante devido a capacidade do lodo de melhorar diversas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (SILVA *et al.*, 2001). Todavia, essa prática deve ser adotada com atenção uma vez que o lodo é composto também de elementos potencialmente tóxicos (Cd, Cr, Pb, Hg, micropoluentes orgânicos, entre outros), além de vírus, bactérias e protozoários (GOMES *et al.*, 2006).

As fossas sépticas são estruturas utilizadas principalmente para tratamento de efluentes de pequenas comunidades, especialmente áreas onde não há rede coletora de esgoto. Em 2009, a fossa séptica era utilizada para o esgotamento sanitário por 11581 residências, o que corresponde a 19,77% da população (IBGE, 2012). Tendo em vista a grande importância da agricultura familiar no Brasil, responsável por 84,4% dos estabelecimentos agropecuários e cerca de 10% do produto interno bruto do país (MEDEIROS *et al.*, 2012), o estudo para a destinação de lodo de fossa séptica em locais próximos a sua geração torna a alternativa ainda mais viável, uma vez que os custos logísticos são reduzidos.

A utilização do lodo na agricultura pode ser ainda uma alternativa para a redução do consumo de fertilizantes fosfatados, obtido a partir da mineração de rochas fosfatadas que têm uma reserva mundial estimada em 16 bilhões de toneladas (VACCARI; STREGUL, 2011). O uso desse insumo na agricultura aumentou 700% nos últimos 50 anos, o que resultou no dobro da produção agrícola com o aumento apenas de 10-15% da área cultivada. (SCHIPANSKI; BENNETT, 2011).

O fósforo no solo tende a se ligar a diversos metais presentes dependendo de suas concentrações e pH. De maneira geral, o fósforo necessita estar livre em solução na forma do íon fosfato para ser absorvido pelas plantas. Todavia, o íon pode estar ligado principalmente a átomos de Al, Fe e Ca (SHARPLEY, 1995).

Neste contexto, o lodo de esgoto é tido como uma fonte alternativa de fósforo e possivelmente um condicionador para a melhor disponibilização do nutriente para as culturas frente as alterações das características que o lodo provoca no solo, tais como aumento do pH, teor de matéria orgânica, diminuição do Al trocável, entre outros (NASCIMENTO *et al.*, 2004).

O presente estudo propôs-se analisar as isotermas de adsorção de amostras de solo tratados com lodo de fossa séptica a fim de avaliar a tendência de ligações do fosfato com os cátions metálicos presentes nas superfícies dos colóides do solo, principalmente com os íons  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Ca}^{3+}$ .

## MATERIAIS E MÉTODOS

A amostra de lodo foi coletada em uma fossa séptica localizada no município de São Miguel Arcanjo-SP que opera a mais de 20 anos sem o descarte do lodo acumulado no tanque séptico. A estrutura que inicialmente foi projetada para receber contribuições de 300 famílias, atualmente trata o efluente de 500 famílias. A amostra recolhida foi seca em estufa a 40°C e moída.

O tanque séptico é coletivo e foi projetado para receber em torno de 300 ligações familiares, porém está sendo operado com aproximadamente 500 ligações. O tanque durante todo o período de 20 anos de operação, nunca recebeu nenhum processo de limpeza.



Figura 1: Vista geral do sistema de tratamento estudado.

O solo coletado na cidade de Campinas-SP foi caracterizado como argilo arenoso e atualmente é utilizado para o plantio de rosas da variedade *ambiance* em estufa do tipo arco com cobertura de polietileno de baixa densidade transparente (MARINHO, 2010), conforme ilustrado na Figura 2. O solo foi seco ao ar, moído e passado por peneira de abertura com abertura de 2 mm.



**Figura 2: Rosa da variedade ambiance cultivada no solo utilizado no estudo**

Fonte: MARINHO (2010)



**Figura 3: Visão geral da casa de vegetação, local de coleta do solo**

Fonte: GABRIELLI (2011)

Em laboratório, o lodo foi incorporado ao solo utilizando como base a quantidade de nitrogênio (1N, equivalente a 2% em massa) presente no lodo e a recomendação agronômica para a cultura de rosas (60 kg.ha<sup>-1</sup>), conforme proposto pela Resolução CONAMA nº 375/06. Para o estudo assumiu-se que o fator de mineralização do lodo de fossa séptica é igual a 20%. Extrapolou-se a quantidade de lodo incorporada para o dobro da recomendação agronômica (2N).

As isotermas de adsorção do fósforo foram realizadas em tubos falcon com tampa de rosca. Nesses 1,00 g de amostra que foi colocado em agitação por 24 h em solução de CaCl<sub>2</sub> 0,01 M e concentrações de fósforo equivalentes a 0, 1, 2, 4, 12, 20, 40, 80 e 120 mg.L<sup>-1</sup> (BARROW, 1984). O fósforo foi adicionado a partir de uma solução estoque de 1000 ppm de P preparado com KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> seco previamente em estufa a 105°C. As adsorções foram feitas em triplicata. A disposição dos tubos falcon na mesa agitadora para a adsorção do fósforo é mostrada na Figura 3



**Figura 4: Disposição dos tubos falcon na mesa agitadora**

Após as 24 h, o material foi centrifugado por 15 minutos e o fósforo remanescente no sobrenadante foi quantificado pelo método de ácido ascórbico proposto por APHA (2001). O fósforo adsorvido ( $P_{ads}$ ) foi calculado por meio da subtração da concentração de fósforo inicialmente colocado em contato com o solo ( $C_0$ ) e a concentração do sobrenadante após as 24 h de agitação ( $C_{eq}$ ).

O fósforo adsorvido foi calculado pela equação:

$$P_{ads} = (C_0 - C_{eq}) \cdot FD$$

Sendo FD correspondente ao fator de diluição (FD=25).

Os dados obtidos foram modelados segundo a equação de Langmuir expressa pela equação abaixo:

$$y = \frac{b \cdot K \cdot C_{eq}}{1 + K \cdot C_{eq}}$$

Sendo K o coeficiente de afinidade, obtido pela equação:

$$K = \frac{1}{b \cdot \beta_0}$$

Sendo  $\beta_0$  o coeficiente linear obtido por meio do gráfico da concentração de equilíbrio ( $C_{eq}/C_{ads}$ ) em função da concentração de fósforo após as 24 horas de agitação ( $C_{eq}$ ) de função geral:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x$$

o coeficiente de adsorção máxima (b) foi obtido a partir da equação

$$b = \frac{1}{\beta_1}$$

## RESULTADOS

Na Tabela 1 é demonstrado o aumento da adsorção máxima de fósforo obtidas para as amostras tratadas com o lodo, todavia a diferença não foi significativa pelo teste de Tukey com significância de 5% (Tabela 2). O coeficiente de afinidade apresentou-se significativamente menor nas amostras que receberam a incorporação de lodo.

**Tabela 1: Coeficientes lineares e de Langmuir da adsorção de fósforo em solo tratados com lodo de fossa séptica**

Tratamento	$\beta_0$	$\beta_1$	$R^2$	Adsorção máxima, $\text{mg.kg}^{-1}$ (b)	Coeficiente de afinidade, $\text{L.g}^{-1}$ (K)
0,0 N	0,0005	0,0021	0,9907	479,95	4,52
1,0 N	0,0010	0,0018	0,9967	546,84	1,83
2,0 N	0,0016	0,0019	0,9919	533,37	1,14

**Tabela 2: fósforo adsorvido pelo solo quando em contato com soluções de fosfato de diferentes concentrações**

Conc. de P ( $\text{mg.kg}^{-1}$ )	25	50	100	300	500	1000	2000
0,0N	24,99 a	65,99 a	62,32 a	174,42 a	234,41 a	560,11 a	458,47 a
1,0N	24,04 a	65,69 a	63,23 a	171,27 a	246,58 a	574,00 a	527,53 a
2,0N	22,67 b	65,37 a	62,29 a	171,68 a	239,85 a	573,27 a	505,70 a

Resultados similares foram obtidos por Sui e Thompson (2000) em estudo desenvolvido no estado do Iowa nos Estados Unidos. Em estudos desenvolvidos na Flórida, EUA, Lu e O'Connor (2001) observaram que a incorporação de lodo de esgoto não influenciou significativamente a adsorção de fósforo em solos ricos em cátions de ferro e alumínio, todavia em solos arenosos pobres nesses cátions, o tratamento com lodo aumentava significativamente a adsorção do macronutriente.

Diversos compostos utilizados no tratamento de efluentes, tais como sais de ferro, alumínio e cálcio podem promover o surgimento de novos sítios de quimioadsorção de fósforo (SOON; BATES, 1982; PENN; SIMS, 2002), o que reduz a solubilidade do elemento (ANJOS; SARKAR; O'CONNOR, 2000; LU; O'CONNOR, 2001). Elliot; O'Connor e Brinton (2002) atribuíram tal redução à precipitação do fosfato de cálcio formado. Segundo Siddique e Robinson (2004), a espécie P-Ca é adsorvida na superfície dos colóides do solo.

Os óxidos de ferro e alumínio são os componentes na fase sólida em maior abundância no lodo de esgoto que contribuem para a sorção do fósforo (REDDY; O'CONNOR; GALE, 1998). Nesses ocorre a troca de ligantes ou quimiosorção, ou seja, os sítios ácidos de Lewis (grupos OH e  $\text{OH}_2^+$ ) que são ligados aos íons de ferro e alumínio de maneira monodentada são substituídos pelo fosfato. Essa ligação é majoritariamente covalente (adsorção específica) (PARFITT, 1978). Tais compostos formados tendem a ter baixa cristalinidade e caráter iônico carga (SANYAL; DATTA, 1991).

Bramryd (2002) menciona ainda a formação de Ca-P em solos não tratados com lodo de esgoto, enquanto que em solos mais ácidos devido à incorporação de lodo ocorre a predominância de Al-P.

Conforme mostrado na Figura 4, a menor intensidade de adsorção foi menor apesar do aumento das doses adicionadas de fósforo. Possivelmente esse fato deve-se à saturação dos sítios de adsorção.

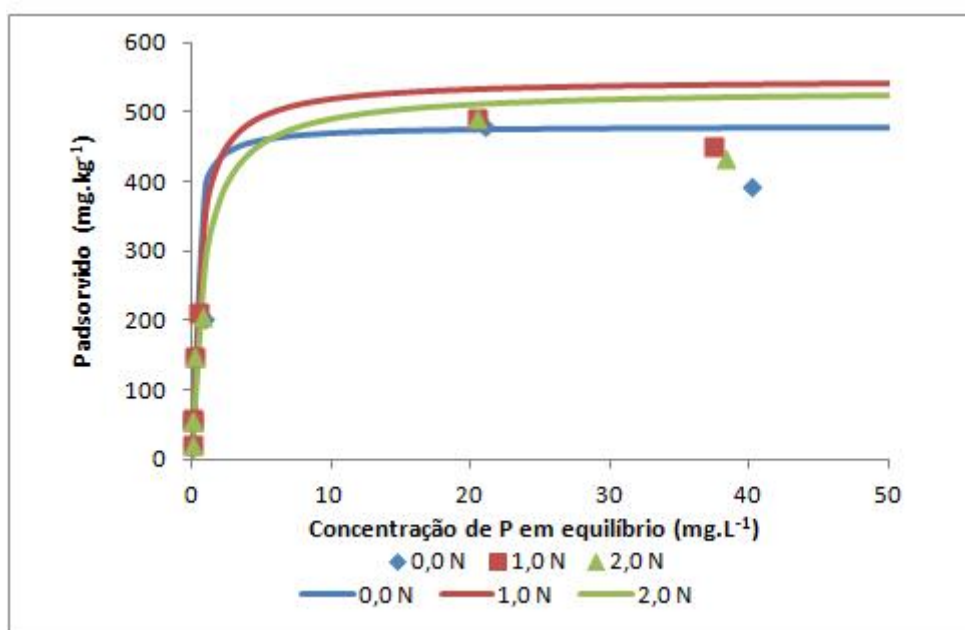


Figura 5: Isoterma de adsorção de fósforo segundo o modelo de Langmuir para amostras de solo tratadas com lodo de fossa séptica

## CONCLUSÕES

Devido a grande quantidade de sítios de adsorção, resultado principalmente dos cátions de ferro presentes no solo, a incorporação de lodo de fossa séptica na amostra de solo argilo arenoso utilizada não apresentou influência significativa para a adsorção de fósforo. Assim, a utilização desse lodo na agricultura é recomendada uma vez que esse contribui para a melhora de diversos atributos do solo e não prejudica a disponibilidade de fósforo para as culturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANDREOLI, C. V.; VON SPERLING, M.; FERNANDES, F. **Lodo de esgoto**: Tratamento e disposição final. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais; Companhia de Saneamento do Paraná, 2001. 484 p.
2. ANJOS, J. T.; SARKAR, D.; O'CONNOR, G. A. Extractable-P in biosolids and biosolids-amended soils: a incubation study. **Revista de Estudos Ambientais**, Blumenau, v. 2, n. 2/3, p. 68-76, 2000.
3. BRAMRYD, T. Impact of sewage sludge application on the long-term nutrient balance in acid soils of scots pine (*Pinus Sylvestris*, L.) forest. **Water, Air and Soil Pollution**, Ontario, v. 140, p.381-399, 2002.
4. ELLIOT, H. A., O'CONNOR, G. A.; BRINTON, S. Influence of water treatment residuals on phosphorus solubility and leaching. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 31, p. 1362-1369, 2002.
5. GABRIELLI, G. **Reúso de efluente de esgoto sanitário anaeróbio e nitrificado em irrigação de roseiras**. 2011. 61p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, 2011.
6. GOMES, S. B. V.; NASCIMENTO, C. W. A.; BIONDI, C. M.; ACCIOLY, A. M. A. Distribuição de metais pesados em plantas de milho cultivadas em Argilossolo tratado com lodo de esgoto. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 6, p. 1689-1695, 2006.
7. IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Séries estatísticas e séries históricas**, 2012. Disponível em: <<http://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=PD268&t=esgotamento-sanitario>> – acesso em 30 de ago. de 2012.
8. LU, P.; O'CONNOR, G. A. Biosolids effects on phosphorus retention and release in some sandy Florida soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 30, p. 1059-1063, 2001.

9. MARINHO, L. E. O. **Uso de efluente sanitário de complexo hospitalar na irrigação de roseiras**. 2010. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas/UNICAMP, Campinas, 2010.
10. MEDEIROS, A. F. Q.; DE SOUZA, J. A.; OLIVEIRA, D. L.; PORTO, W. S. Controle e apuração de resultado na agricultura familiar sob a ótica da sustentabilidade de produtores rurais. **Revista eletrônica saber contábil**. Ji-Pará, v. 2, n. 1, p. 01-16, 2012.
11. MUNHOZ, R. O.; BERTON, R. S. Disponibilidade de fósforo para o milho em solo que recebeu lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Ed.) **Lodo de esgoto: impactos ambientais na agricultura**. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente. p. 91-124. 2006.
12. NASCIMENTO, C. W.; BARROS, D. S. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após a aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Viçosa, v. 28, p. 385-392, 2004.
13. PARTIFF, R. L. Anion adsorption by soils and soil minerals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 30, p. 1-46, 1978.
14. REDDY, K. R.; O'CONNOR, G. A.; GALE, P. M. Phosphorus sorption capacity of wetland soils and stream sediments impacted by dairy effluent. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 27, p. 438-447, 1998.
15. SANYAL, S. K.; DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. In: STEWART, B. A. (ed) **Advances in soil science**, New York, v. 16, p. 01-120, 1991.
16. SHARPLEY, A. N. Soil phosphorus dynamics: agronomic and environmental impacts. **Ecological Engineering**, v. 5, 261-279, 1995.
17. SCHIPANSKI, M. E.; BENNETT, E. M. The influence of agricultural trade and livestock production on the global phosphorus cycle. **Ecosystems**, v. 15, n. 2 p. 256-268, 2011.
18. SIDDIQUE, M. T.; ROBINSON, J. S. Differences in phosphorus retention and release in soils amended with animal manures and sewage sludge. **Soil Science Society of America Journal**. Baltimore, v. 68, p. 1421-1428, 2004.
19. SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLIH, B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.
20. SOON, Y. K.; BATES, T. E. Extractability and solubility of phosphates in soils amended with chemically treated sewage sludges. **Soil Science**, Baltimore, v. 134, p. 89-96, 1982.
21. VACCARI, D. A.; STRIGUL, N. Extrapolating phosphorus production to estimate resource reserves. **Chemosphere**, v. 84, n. 6, p. 792-797, 2011.