

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

ADSORÇÃO DE FÓSFORO EM LATOSSOLO TRATADO COM LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Isabella Menuzzo Lucon¹
Ronaldo Severiano Berton¹
*Aline Renée Coscione¹

PHOSPHORUS SORPTION ON OXISOL AMENDED
WITH WATER TREATMENT SLUDGE

Recibido el 27 de septiembre de 2016; Aceptado el 6 de octubre de 2017

Abstract

The low quality of water catchments and the need to provide high quality water for a growing population results in a significant increase in water treatment sludge (WTS). The reuse in agricultural or degraded areas is a possible alternative for this waste. However, in tropical soils phosphorus is usually the limiting factor for cropping. This study aimed to determine the extent of phosphorus adsorption in an Oxisol treated with different doses of WTS and two soil pH (original pH = 4.8 and modified pH = 6.5), assessing its potential impact on agricultural soil. For this, soil samples treated with different doses of WTS were subjected to P solutions with increasing concentrations until reaching the balance, adjustment of sorption isotherms, determination of P sorption capacity and sorption strength on soils. The WTS application increased the soil P sorption capacity and sorption strengths at both pHs, especially at pH 6.5, with the respective P-labile decrease in soil solution. The adsorption test performed can be used as a decision tool for soil application of the WTS.

Key Words: Langmuir adsorption isotherms, urban residues, soil quality, soil fertility.

¹ Centro de Solos e Recursos Ambientais – Qualidade do Solo, Instituto Agrônomo, Campinas/SP.

* *Autor correspondente:* Centro de Solos e Recursos Ambientais, Instituto Agrônomo, Campinas/SP. Av. Barão de Itapura, número 1.481, Vila Itapura, Campinas, São Paulo. Código Postal 13020-902. Brasil. Email: aline@iac.sp.gov.br

Resumo

A baixa qualidade da água bruta captada e a exigência de fornecimento de água com qualidade para uma população cada vez maior geram um significativo aumento na produção de lodo das Estações de Tratamento de Água (LETA). Uma alternativa de reutilização deste resíduo é sua reciclagem no solo, em áreas agrícolas ou degradadas. No entanto, em solos tropicais a disponibilidade de fósforo é, em geral, o maior limitante para a produção. Este estudo teve como objetivo determinar a adsorção de fósforo de um latossolo tratado, em dois valores de pH (pH original = 4.8 e pH modificado = 6.5), com várias doses de LETA, avaliando seu impacto potencial em solo agrícola. Amostras de solo que receberam diferentes doses de LETA foram tratadas com soluções de concentrações crescentes de P até obtenção do equilíbrio, realizando-se o ajuste de isotermas de adsorção, a determinação da capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e energia de ligação no solo. A aplicação do lodo elevou a CMAP do solo e a energia de ligação em ambos os pH avaliados, especialmente em 6.5, com diminuição de P-lábil na solução do solo. O ensaio de adsorção realizado pode ser usado como ferramenta decisória para aplicação do LETA no solo.

Palavras chave: Isotermas de Langmuir, resíduo urbano, qualidade do solo, fertilidade do solo.

Introdução

Os lodos gerados em estações de tratamento de água (LETA) são classificados como resíduos sólidos, contendo mais de 90% de água e composição variada conforme a região onde está localizada a estação de tratamento, o mês de coleta e o coagulante utilizado (Richter, 2001). O coagulante empregado, no entanto, é um dos fatores mais importantes na composição do LETA, sendo os mais utilizados o policloreto de alumínio e os sais de Al ou de Fe, que proporcionam altas concentrações destes elementos no LETA.

Nos EUA, a aplicação de LETA no solo não apenas é permitida, mas incentivada em área de reflorestamento e de citricultura, com aplicação nas covas de plantio, como forma de reciclagem de ferro (Cornwell et al., 2000; Dayton & Basta, 2001). Alguns benefícios associados à aplicação de LETA em solos agrícolas são: melhoria da estrutura do solo, aumento da capacidade de retenção de água e melhoria das condições de aeração do solo, devido ao acréscimo de matéria orgânica no solo. Silva et al. (2005) e Teixeira et al. (2005) constataram que o lodo de ETA mostrou-se viável como fertilizante por conter macronutrientes, em especial Ca, Mg e K, frisando o aumento dos teores dos mesmos e de carbono orgânico total no solo em solo degradado.

Apesar do uso do LETA ser interessante por não envolver processos biológicos e estar livre de patógenos humanos, seu uso deve ser baseado não apenas na ausência destes e de outros contaminantes (metais pesados), mas na existência de nutrientes benéficos às culturas. No Brasil, Silva et al. (2005) sugerem que o uso do LETA é viável, mas destacam que sua aplicação não deve ser baseada no teor de N do mesmo, que é baixo em relação a outros resíduos usados na agricultura. Mesmo contendo teores variáveis de matéria orgânica, e eventualmente de outros aditivos interessantes, tal qual calcário (Silva et al., 2005), o uso de LETA no solo ainda é controverso, pois as elevadas concentrações de alumínio e ferro podem influenciar na adsorção

do fósforo pelo solo após a sua aplicação (Chao et al.; 2007; Moreira, 2009). Fator importante já que o baixo teor de fósforo disponível nos solos brasileiros é a limitação nutricional mais generalizada na produção agrícola e o suprimento de P para a fabricação de fertilizantes constitui um recurso natural não renovável (Araújo & Machado, 2006).

No Brasil os poucos estudos sobre a disposição de LETA no solo não avaliaram alterações na adsorção de P com a aplicação do resíduo, avaliando seu impacto na fertilidade do solo, desta forma o objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações na capacidade de adsorção de P do solo que recebeu lodo de ETA em função do dois valores de pH do solo.

Material e métodos

Solo

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico plíntico, textura franco-argiloarenosa, pH(CaCl₂) 4.8, coletado entre a camada de 0 a 20 cm de profundidade na Unidade Pálida do Centro Experimental Central do Instituto Agrônomo, Campinas/SP. Os resultados da análise granulométrica no Laboratório de Física do Solo e de fertilidade no Laboratório de Fertilidade do Solo do Instituto Agrônomo, Campinas/SP, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Análise granulométrica e de fertilidade do solo.

Argila (g/kg) < 0.002 mm	Silte (g/kg) 0.053 – 0.002 mm	Areia			Classificação textural				
		Total 2.00 – 0.053 mm	Grossa 2.00 – 0.210 mm	Fina 0.210 – 0.053 mm					
326	69	605	432	173	Franco- argiloarenosa				
M.O. g/dm ³	pH	P resina mg/dm ³	K	Ca	Mg	Al DTPA mmolc/dm ³	H + Al	S.B.	C.T.C.
27	4.8	5	2.5	17	6	1	25	24.8	49.8
V%	B	Cu	Fe DTPA	Mn	Zn	Cd	Cr	Ni	Pb
%	mg/dm ³								
50	0.22	1.1	28	2.7	0.4	< 0.01	< 0.01	0.04	0.96

Fertilidade de acordo com os métodos descritos por Raij et al. (2001); granulometria pelo método da pipeta.

A elevação do pH_(CaCl₂) do solo para o valor de pH 6.5, ocorreu utilizando-se CaCO₃ P.A.. A dose utilizada foi baseada na curva de neutralização, onde doses diferentes de calcário são colocadas no solo e relacionadas

com o pH atingido pelo solo após a mistura. Para promover a elevação de forma uniforme, o CaCO_3 foi homogeneizado ao solo e a mistura permaneceu incubada por 30 dias, período de reação do solo com o mesmo, garantindo a estabilização do pH em 6.5.

Obtenção do LETA

O lodo utilizado foi obtido em uma Estação de Tratamento de Águas da região metropolitana de Campinas/SP, onde são tratados e distribuídos, em média, 15,5 milhões de litros de água por dia. A água captada contém baixo teor de matéria orgânica e de poluentes. Nesta ETA, o lodo passa por leitos de secagem e sacos de material reciclável em que o mesmo é “filtrado” e tem parte da água retirada, até atingir cerca de 15% de umidade, sendo posteriormente depositado em aterro sanitário. Como o lodo fica exposto, o processo de perda de umidade varia de acordo com a precipitação e intensidade dos raios solares. Este lodo é originado de um período grande de processos de tratamento de água, sendo, por si próprio, um conjunto de amostragens de diferentes períodos de tratamento. O LETA foi triturado e passado em peneira de 0.84 mm antes das etapas do experimento em laboratório.

A taxa de mineralização de nitrogênio (TMN) do LETA foi determinada por meio de ensaio de incubação aeróbia, sem lixiviação, com duração de 126 dias (Coscione & Andrade, 2006). A média da TMN obtida experimentalmente e a caracterização química do lodo utilizado no experimento é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Análise química do lodo de estação de tratamento de água usado no experimento.

Parâmetro ⁽¹⁾	Unidade ⁽²⁾	Resultado	Parâmetro ⁽¹⁾	Unidade ⁽²⁾	Resultado
pH (em água 1:10)	-----	7.1	Alumínio	g/kg	51.7
Umidade, a 60 - 65°C	% (m/m)	26.5	Boro	mg/kg	64.3
Sólidos Totais	% (m/m)	73.5	Cádmio	mg/kg	0.5
Sólidos Voláteis	% (m/m)	42	Cálcio	g/kg	1.1
Carbono Orgânico	g/kg	249	Chumbo	mg/kg	5.8
Nitrogênio Kjeldahl	g/kg	7	Cobre	mg/kg	23
Nitrogênio amoniacal	mg/kg	75	Cromo total	mg/kg	16.8
Nitrogênio nitrato-nitrito	mg/kg	25.7	Enxofre	g/kg	1.5
Taxa de mineralização do Nitrogênio (TMN)	%	1.3	Ferro	g/kg	38.6
Arsênio	mg/kg	6.3	Fósforo	g/kg	0.7
Bário	mg/kg	<1.0 ⁽³⁾	Magnésio	g/kg	0.3
Mercúrio	mg/kg	<1.0 ⁽³⁾	Manganês	g/kg	0.9
Potássio	mg/kg	638	Molibdênio	mg/kg	<0.9 ⁽³⁾
Selênio	mg/kg	<1.0 ⁽²⁾	Níquel	mg/kg	<2.4 ⁽²⁾
Sódio	mg/kg	442	Zinco	mg/kg	19.7

(1) Nitrogênio: método Kjeldahl; TMN: incubação aeróbia (Coscione & Andrade, 2006); Umidade e Sólido voláteis: perda de umidade a 60 e 500 °C; pH: extrato aquoso na proporção 1:10 (de Andrade, J.C.; de Abreu, M.F., 2006); Metais: EPA-SW-846-3051^a, com determinação por ICP-AES, de acordo com EPA-SW-846-6010c.

(2) Resultados expressos na amostra em base seca.

(3) Não detectado, concentrações menores que o limite de detecção.

Os tratamentos constituíram de doses de LETA equivalentes a 0, 200, 400 e 800 kg de N ha⁻¹, correspondentes a 26, 52 e 104 Mg ha⁻¹ de LETA, com a umidade original, com três repetições. As doses empregadas foram definidas com base no nitrogênio contido no LETA, segundo a legislação brasileira (CONAMA, 2006), pois a aplicação de lodo de esgoto e produtos derivados utiliza esse parâmetro para a recomendação da taxa de aplicação. As doses foram estabelecidas visando cobrir a faixa recomendada para a cultura de milho de 40 a 120 kg de N ha⁻¹, conforme Raij et al (1996).

Adsorção de P

Em uma segunda etapa do experimento, o ensaio de adsorção do fósforo, o mesmo foi incubado em solo em potes de polietileno com 800 gramas de TFSA, com o pH original (4.8) e com o pH modificado (6.5), por mais 30 dias, agora com doses crescentes de LETA, em duplicata, mantendo a umidade do solo à 70% da CRA por meio de pesagem. As doses de LETA utilizadas no ensaio de adsorção foram as mesmas empregadas no ensaio de determinação da TMN (10 mg kg⁻¹, 20 mg kg⁻¹, 40 mg kg⁻¹), correspondentes a 26, 52 e 78 Mg de LETA ha⁻¹, com a umidade original.

Para a obtenção da curva de adsorção do fósforo, 3 g de solo referente a cada tratamento foram colocados em tubos de centrifuga (tipo Falcon, 50 ml) com 30 ml de CaCl₂ 0.01mol L⁻¹, preparadas com KH₂PO₄ P.A. (sem controle de pH), com concentrações variando de 0, 50, 150, 300 e 600 mg L⁻¹ de P. As concentrações empregadas na curva de adsorção de P foram escolhidas após ensaio preliminar no qual definiu-se a concentração mínima a partir da qual não ocorresse adsorção total do P da solução. Duas gotas de tolueno foram acrescentadas à solução para evitar o crescimento de microrganismos. Também foram coletadas amostras de 10 g para determinação da umidade do solo e posterior correção dos valores de adsorção.

As amostras de solo e as soluções de P listadas acima foram mantidas em contato durante seis dias em tubos de centrifuga. Os tubos foram agitados três vezes ao dia por 30 minutos a 150 ciclos por minuto. Finalmente, os tubos foram centrifugados a 577 g por 15 minutos, separando o sobrenadante do material sólido e passando pelo papel filtro quantitativo de filtragem lenta (retendo partículas de até 2.5 µm) (Novais e Kamprath, 1979). A concentração de P na suspensão foi determinada por ICP - AES. A quantidade de P adsorvida pelo solo foi obtida pela diferença entre o P no sobrenadante (solução de equilíbrio) e o P adicionado no início do processo.

Utilizou-se a forma linear da equação de Langmuir para determinar a adsorção de P. O valor da CMAP foi estimado a partir da declividade da reta ajustada e, a energia de ligação, a partir do valor da interseção (Novais et al., 2007).

Resultados e discussão

O LETA utilizado possuía coloração escura, apresentava-se em forma de torrões rígidos e pH neutro, com baixa umidade (26.5%) e cerca de 25% de carbono orgânico. Apesar deste elevado teor de carbono, os teores macronutrientes eram baixos, sendo composto por 0.11 % de Ca; 0.03 % de Mg, 0, 15% de S e 0.7% de N. Os teores de K encontravam-se na faixa de mg/kg. O valor de pH e os teores de Ca e Mg diferem da composição de alguns LETA de outros estudos feitos no Brasil (Silva et al.; 2005, Teixeira et al.; 2005), pois, nestes trabalhos, o lodo utilizado passou por um processo de estabilização com adição de quantidades

significativas de calcário. Como o LETA utilizado neste experimento era descartado, o mesmo apenas passava pelo processo de secagem, sem adição de calcário. Portanto, a composição química do LETA em estudo indica que o uso do mesmo como fertilizante não seria adequado para o fornecimento de Ca, Mg, S, N ou K.

Embora o teor de sólidos voláteis (42%), associado ao teor de C encontrado, possa indicar a presença de matéria orgânica biodegradável, a relação C/N encontrada é de 35.6. Isso se deve a baixa concentração de N no resíduo, provavelmente decorrente do longo período que a pilha do resíduo permaneceu exposta ao tempo, dando origem a um material estabilizado. Outro indicador importante é a relação entre sólidos voláteis e sólidos totais, neste caso de 0.57. Segunda a resolução CONAMA 375, quando esta relação for abaixo de 0.70 o lodo pode ser considerado estabilizado. Desta forma a TMN determinada para o presente LETA (Tabela 1) é consistente com a composição do resíduo.

Valores de relação C/N de resíduos de origem vegetal ou agroindustrial inferiores a 20 indicam que haverá degradação da carga orgânica após aplicação no solo (Victória et al., 1992). Nesta condição predominam a mineralização do N em detrimento da imobilização pela microbiota edáfica, o que é interessante sob o ponto de vista de uso agrícola, uma vez que, depende tipo de resíduo e da taxa de aplicação, pode anular a possibilidade de deficiência temporária de N às culturas crescendo nesses locais.

Silva et al. (2005), bem como Teixeira et al. (2005) diante de uma relação C/N similar sugerem não tomar o nutriente N como base de aplicação do LETA e realizar a aplicação conjunta de outros materiais orgânicos, preferencialmente ricos em N, capazes de melhorar esta relação. Este tipo de manejo foi utilizado por Bittencourt et al. (2012) que, ao avaliar a aplicação de LETA combinado com lodo de estação de tratamento de esgoto, não constatou efeito de interação entre os lodos, sem verificação de benefício agrícola no uso do LETA. Provavelmente esta opção também não seria viável dado o histórico do resíduo estudado neste trabalho, que indica que o LETA não é adequado para o uso agrícola.

Para os micronutrientes e metais, o LETA apresentou traços de boro, cobre, manganês, zinco, chumbo cromo e arsênio. Se por um lado o benefício agrícola advindo dos micronutrientes seja muito pequeno, a presença de elementos potencialmente tóxicos, com exceção de ferro e alumínio, é desprezível neste resíduo.

Adsorção de P

O ajuste das isotermas de Langmuir do processo de adsorção do P são apresentadas na Figura 1. Nos dois valores de pH estudados, observou-se uma inclinação mais acentuada das isotermas com o aumento das doses de LETA aplicadas ao solo, ou seja, uma maior adsorção de P da solução com doses mais altas de LETA, o que foi confirmado com a linearização das isotermas (tabela 3).

A forma linear de regressão da equação de Langmuir apresentou correlação significativa para todas as doses de LETA estudadas, indicando que os fenômenos de adsorção foram adequadamente descrito por esta isoterma (Tabela 3). A capacidade máxima de adsorção de P variou de 1.5 a 4.1 mg kg⁻¹ e a energia de ligação também variou de 1.5 a 3.3 mg g⁻¹ para valores de pH 4.8 e de 1.9 a 4.1 mg g⁻¹ para valor de pH 6.5.

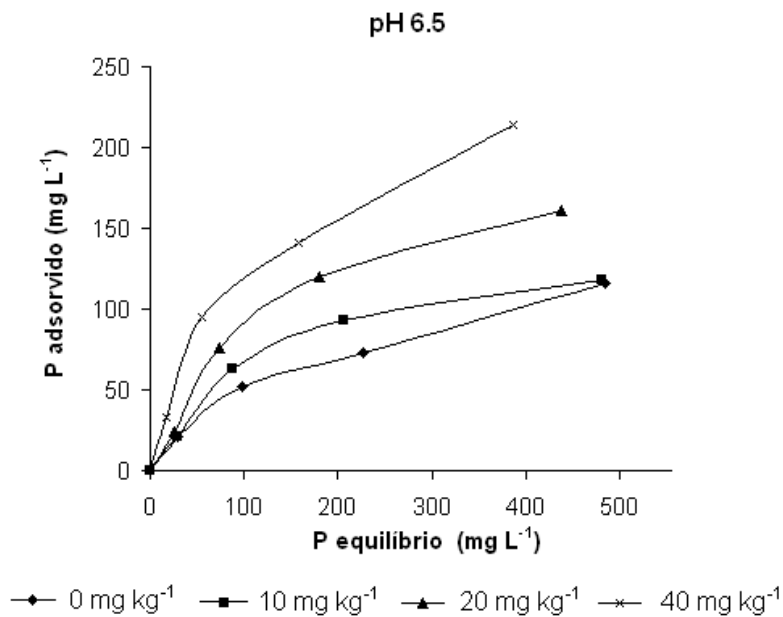
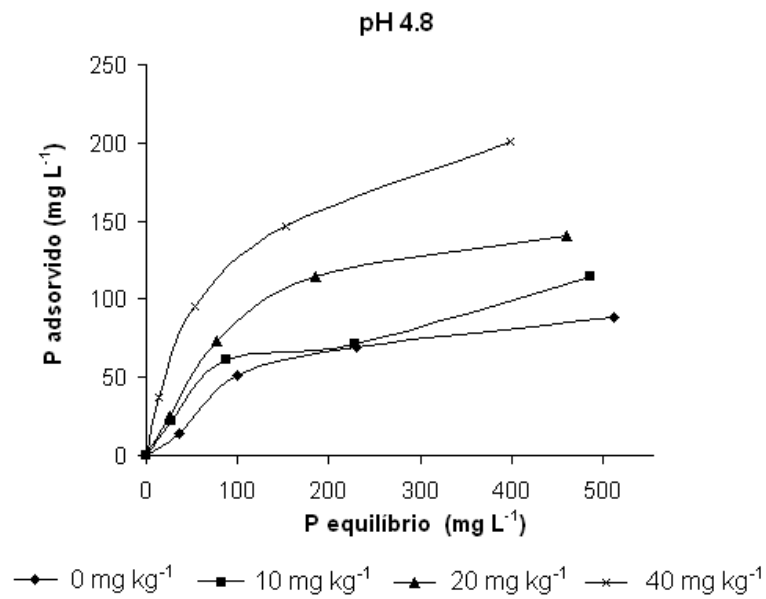


Figura 1. Isothermas de adsorção do fósforo em solo que recebeu adição de LETA (0,10, 20, 40 mg kg^{-1}) em dois valores de $\text{pH}_{(\text{CaCl}_2)}$ (a) pH 4.8 e (b) pH 6.5.

Tabela 3. Isoterma de Langmuir linearizada, coeficiente de regressão, capacidade máxima de adsorção e energia de ligação de fósforo em solo tratado com lodo de ETA.

Dose de LETA (mg kg ⁻¹)	R ²	Regressão linear	CMAP* (mg g ⁻¹)	Energia de ligação (L mg ⁻¹)
pH 4.8				
0	0.890	Y = 158 + 0.669 X	1.5	4.2 x 10 ⁻³
10	0.933	Y = 93.5 + 0.580 X	1.7	6.2 x 10 ⁻³
20	0.956	Y = 54.0 + 0.436 X	2.3	8.1 x 10 ⁻³
40	0.997	Y = 15.3 + 0.303 X	3.3	19.8 x 10 ⁻³
pH 6.5				
0	0.966	Y = 122 + 0.515 X	1.9	4.2 x 10 ⁻³
10	0.963	Y = 83.4 + 0.522 X	1.9	6.3 x 10 ⁻³
20	0.905	Y = 73.6 + 0.312 X	3.2	4.2 x 10 ⁻³
40	0.998	Y = 32.7 + 0.247 X	4.1	7.6 x 10 ⁻³

* Capacidade máxima de adsorção de fósforo

Tanto a CMAP quanto a energia de ligação tenderam a aumentar com o aumento da dose de LETA. O aumento de CMAP não foi proporcional ao da dose de LETA em nenhum dos valores de pH estudados. Entretanto, o aumento da CMAP foi muito semelhante entre eles, praticamente dobrando do tratamento sem adição de lodo para a dose de 40 mg kg⁻¹ (Tabela 3). Isso permite afirmar que os sítios de adsorção de P no LETA se comportam de forma semelhante aqueles presentes no solo.

No que se refere à energia de ligação, observa-se que houve um aumento da ligação de P ao solo cerca de 5 vezes em relação ao tratamento sem LETA em pH 4.8, enquanto no pH 6.5 este não chegou a dobrar. Esses resultados indicam que a adição de LETA ao solo aumenta a capacidade deste em armazenar P (CMAP), esse P armazenado não estaria disponível na solução do solo ou para equilibrar a concentração de P na solução do solo, deixando de ser útil para o crescimento imediato de plantas.

Solos com CMAP de 1 mg g⁻¹ apresentam um poder de adsorção da ordem de 4600 kg ha⁻¹ de P₂O₅, ou de aproximadamente 23 Mg ha⁻¹ de superfosfato simples. Assim, para os valores de 3.3 mg g⁻¹ e 4 mg g⁻¹, a mistura solo + LETA seria capaz de adsorver 15.2 Mg ha⁻¹ e 18.4 Mg ha⁻¹ de P₂O₅, o que inviabilizaria a produção agrícola devido ao altíssimo custo com adubação fosfatada.

A dinâmica do P no solo é complexa e diversas rotas de interação com os seus constituintes contribuem para sua baixa disponibilidade na solução do solo, a partir da qual é absorvido pelas plantas. Mesmo quando aplicado como fertilizante, na forma de compostos solúveis, a maior parte do P adicionado é adsorvida aos colóides do solo, tornando-se com o tempo não-disponível. Dentre os mecanismos mais importantes na imobilização de fósforo no solo estão a formação de compostos de baixa solubilidade, especialmente com os óxidos de Fe e Al dos quais os solos tropicais são ricos, e o valor de pH (Novais et al., 2007). Se por um lado, o aumento do pH altera as espécies fosfatadas em equilíbrio na solução do solo, no sentido de formação de espécies mais desprotonadas e, portanto, mais reativas (pKa1 = 2.15, pKa2 = 7.20 e pKa3 = 12.35 para o ácido fosfórico) (Skoog et al., 1995), por outro lado, em valores de pH mais básicos, a hidrólise de cátions como o Fe é favorecida.

Com o aumento do pH, a carga superficial de partículas do solo torna-se cada vez mais negativa, aumentando a repulsão entre o fosfato e a superfície adsorvente, resultando em menor adsorção. Como consequência, a adsorção de P pelo solo deve ser máxima com valores baixos de pH (Novais et al., 2007). Além disso, a presença de Ca, devido a adição de CaCO_3 para a elevação do pH do solo, também imobiliza o P ao se combinar com o mesmo formando $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ (insolúvel).

Conclusão

- A aplicação de LETA ao solo aumenta significativamente a capacidade máxima de adsorção de fósforo (CMAP) e a energia de ligação. Na energia de ligação, o efeito é mais pronunciado em pH 4.8 do que em pH 6.5.
- Embora a calagem possa reduzir a adsorção de fósforo em solos tropicais, o custo da adubação fosfatada necessária para compensar o aumento da CMAP e energia de ligação de solos tratados com LETA pode inviabilizar economicamente a produção agrícola.
- O ensaio de adsorção realizado pode ser usado como ferramenta decisória para aplicação do LETA no solo, visto que o mesmo atua como dreno de fósforo, indisponibilizando este nutriente para as plantas.

Referências bibliográfica

- Araújo, A.P., Machado, C.T.T. (2006) Fósforo. In Fernandes, M.S. (Ed.). *Nutrição mineral de plantas*. SBCS, Viçosa. Pp. 253-280.
- Bittencourt, S., Serrat, M.S., Aisse, M.M., Marin, L.M.K.S., Simão, C.C. (2012) Aplicação de lodos de estações de tratamentos de água e de tratamento de esgoto em solo degradado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **17**(3), 315-324. Acesso em 05 de Julho de 2015, disponível em: www.scielo.br/pdf/esa/v17n3/v17n3a08.pdf
- Chao, I.R.S., Morita, D.M., Ferraz, T.H. (2007) *Uso de lodo de estação de tratamento de água para a remoção de fósforo de efluentes do sistema de lodos ativados*. Companhia de Saneamento Básico de São Paulo – SABESP.
- Coscione, A.R.; Andrade, C.A. (2006). *Protocolos para avaliação da dinâmica de resíduos orgânicos no solo*. In: *Análise química de resíduos sólidos para monitoramento e estudos agroambientais*. Andrade, J.C., Abreu, M.F. Instituto Agrônomo, Campinas. Pp. 159-177.
- Cornwell, D.A., Mutter, R.N., Vandermeiden, C. (2000) Commercial application and marketing of water plant residuals. Denver, CO: *American Water Works Association Research Foundation*; American Water Works Association, 187p.
- Dayton, E.A., Basta, N.T. (2001) Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. *J. Water Environment Research*, **73**(1), 52-57.
- Kurtz, L.T., Quirk, J.P. (1965). Phosphate adsorption and phosphate fraction in field soils of varying histories of phosphate fertilization. *Aust. J. Agric. Res.*, **16**, 403-412. doi:10.1071/AR9650403
- Moreira, R.C.A., Guimarães, E. M., Boaventura, G. R., Momesso, A. M., Lima, G. L. de. (2009). Estudo geoquímico da disposição de lodo de estação de tratamento de água em área degradada. *Química Nova*, **32**(8), 2085-2093. doi:10.1590/S0100-40422009000800019
- Novais, R.F., Kamprath, E.J. (1979) Fósforo recuperado em três extratores químicos como função de fósforo aplicado no solo e do "fator capacidade". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, **3**,41-46.
- Novais, R.F., Smyth, T.J., Nunes, F.N. (2007). Fósforo. In Novais, R.F., Alvarez V., V.H., Barros, N.F., Fontes, R.L.F., Cantarutti, R.B. and Neves, J.C.L. (Eds) *Fertilidade do solo*. SBCS, Viçosa. Pp. 471-550.

- Padilha, J.C. (2007) *Aplicação de lodos de tratamentos de água e esgoto em latossolos cultivados com milho e soja*. Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Raij, B. van, Cantarella, H., Quaggio, J.A., Furlani, A.M. (Ed.) (1996) *Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo*. Campinas: Instituto Agrônomo. 285 pp. (Boletim Técnico IAC, 100)
- Raij, B. van, Quaggio, J.A. (2001) Determinação de fósforo, cálcio, magnésio e potássio extraídos com resina trocadora de íons. In Raij, B. van; Andrade, J.C.; Cantarella, H.; Quaggio, J.A. (eds) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas: Instituto Agrônomo. Pp.189-199.
- Richter, C.A. (2001). *Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água*, Edgard Blücher Ltda.: São Paulo.
- Silva, E.T., Melo, W.J., Teixeira, S.T. (2005). Chemical attributes of a degraded soil after application of water treatment sludges. *Scientia agricola*. Piracicaba, **62**(6). doi: 10.1590/S0103-90162005000600008
- Skoog, D.A., West, D.M., Holler, F.J. (1995) *Fundamentals of analytical chemistry* (7th ed.). Saunders College Publishing.
- Victoria, R.L., Piccolo, M.C., Vargas, A.A.T. (1992) O ciclo do nitrogênio. In Cardoso, E.J.B.N., Tsai, S.M., Neves, M.C.P. *Microbiologia do solo*. Campinas: SBCS. Cap 8. Pp.105-120.
- Teixeira, S.T., Melo, W.J., Silva, E.T. (2005) Aplicação de lodo da estação de tratamento de água em solo degradado. *Pesquisa agropecuária brasileira*. Brasília, **40**(1), 315-324. doi: 10.1590/S0100-204X2005000100013