USO BENÉFICO DE LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA: REMOÇÃO DE FOSFORO EM EFLUENTES DE LODOS ATIVADOS E LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO

Iara Regina Soares Chao[(1)]

Engenheira Civil, especialista em controle de poluição pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela EPUSP. Engenheira do Depto de Execução de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da SABESP

Dione Mari Morita

Engenheira Civil doutora em engenharia hidráulica e sanitária pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, livre docente do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da EPUSP.

Endereço[(1)]**:** Rua Nicolau Gagliardi, 313 - Pinheiros - São Paulo, SP – Brasil, Telefone: (11) 3388-9422 e-mail: ichao@sabesp.com.br

RESUMO

A reciclagem do lodo de estações de tratamento de água para a remoção de fósforo tem sido considerada uma importante alternativa de uso benéfico do lodo por solucionar dois grandes problemas ambientais: o lançamento de efluentes de estações de tratamento de esgotos contendo fósforo e a destinação inadequada do lodo gerado durante o processo de tratamento de água. Neste trabalho, estudou-se a reciclagem de lodos que utilizam sais de alumínio como coagulantes, para remoção de fósforo de efluentes de lagoas de estabilização e de sistemas de lodos ativados. A remoção de fósforo reativo atingiu patamares acima de 90% (concentração inicial de 2,90 mg P/L no efluente do sistema de lodos ativados e 1,12 mgP/L no efluente das lagoas) em pH de 6,5; tempo de mistura de 30 minutos; gradiente de velocidade de 40 s^{-1} e tempo de sedimentação de 15 minutos, com dosagem de 40 mg lodo/L para o efluente do sistema de lodos ativados e 131mg lodo/L para o das lagoas. Nestas condições operacionais, a concentração de fósforo do efluente tratado nos dois sistemas foi de 0,01mg P/L, confirmando esta alternativa como uma opção sustentável, em consonância com os conceitos de produção mais limpa.

PALAVRAS-CHAVE: RECICLAGEM DE LODO; REMOÇÃO DE FÓSFORO; USO BENÉFICO DE LODO; LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO; LODOS ATIVADOS; REMOÇÃO DE NUTRIENTES.

1. INTRODUÇÃO

A etapa terciária do tratamento de esgoto, responsável pela eliminação de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo, ainda não é comum no Brasil, mesmo em locais de extrema necessidade de preservação dos recursos hídricos, como é o caso das áreas de proteção de mananciais. O fósforo é considerado o nutriente de maior importância nos fenômenos de eutrofização (fator limitante) e seu controle tem sido o foco de atenções para a melhoria da qualidade dos corpos d'água.

Por outro lado, os lodos gerados em estações de tratamento de água (ETAs) que utilizam sais de alumínio como coagulante têm elevado potencial para remoção de fósforo por adsorção, próprio de sua estrutura amorfa, uma característica que aumenta a área superficial dos sais de alumínio, em comparação com a forma cristalina e conseqüentemente possibilita uma adsorção muito maior (STUMM, 1992; DAYTON; BASTA, 1995; BASTA,1996; GALLIMORE et al., 1999; ELLIOT et al 2002; REIS, 2002; DAYTON; BASTA, 2005).

Outro ponto forte refere-se à capacidade de troca aniônica dos óxidos e hidróxidos presentes nesse lodo. O hidróxido de alumínio, na forma $Al(OH)_3.nH_2O$, originado da precipitação de sais de alumínio (III) no tratamento de água, embora seja pouco solúvel em água, apresenta-se no lodo de ETA como uma substância gelatinosa, que se dissolve tanto em ácidos como em bases, isto é, apresenta um comportamento anfótero (QUAGLIANO & VALLARINO, 1985). O potencial de remoção de fósforo com a utilização de lodo de ETA pode ser potencializado em meio ácido, de tal forma que a superfície do hidróxido de alumínio torne-se carregada positivamente e atraia o fósforo reativo (STUMM, 1992; BASTA, 1996; GALLIMORE et al., 1999; RIVERA ESCOBAR. J.C, (2001); ELLIOT et al 2002; REIS, 2002).

Em relação à aplicabilidade do lodo de ETA como insumo para remoção de fósforo, são conhecidos estudos na literatura com a utilização de lodo *in natura*, *apenas e*m pesquisas cujo objetivo era avaliar o impacto do lançamento de lodos de ETAs em ETEs. Nessa aplicação, o lodo é lançado no sistema público de esgoto e, daí, segue para a ETE. Tais estudos, como os realizados por Cornwell et al (1987); Oberacker *et al.* (2002) e Harry et al (2002), já indicavam essa possibilidade. Outros estudos realizados especificamente para remoção de fósforo do efluente da ETE recomendam o uso de lodo desidratado e desaguado (GEORGANTAS, E GRIGOROPOULOU, 2005; MORTULA et al 2005; MORTULA et al 2006; ZHAO, 2006, YANG et al 2008;). Outras pesquisas utilizaram lodo produzido em laboratório e esgoto sintético, cujas conclusões não podem ser extrapoladas diretamente para a escala real (GALARNEAU e GEHR, 1997; HUANG e CRISWELL, 2000; KIM,J.G et al, 2003; MAKRIS, 2004; ZHAO, 2006; RAZOLI et al 2007).

Outro grande diferencial dessa utilização é que os lodos de ETAs em países desenvolvidos passam por um processo de desidratação e/ou secagem, enquanto que no Brasil e na maioria dos países em desenvolvimento, ainda não existe essa etapa de tratamento, sendo possível o uso do lodo *in natura*.

2. OBJETIVOS

O trabalho teve por objetivo comparar a remoção de fósforo de efluentes de sistemas de lodos ativados e de lagoas de estabilização, com o uso de lodo de estação de tratamento de água que utiliza sais de alumínio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento prático da pesquisa, empregaram-se os lodos gerados nas ETAs Mairiporã e Alto Cotia, que utilizam, respectivamente, PAC (cloreto de polialumínio) e sulfato de alumínio. Eles foram coletados diretamente das unidades de descarte de lodo e imediatamente transportados ao laboratório, para a realização dos testes de jarros (*jar test*).
Os efluentes avaliados eram oriundos de duas estações de tratamento biológico de esgoto: ETE Barueri (lodos ativados) e ETE Mairiporã (lagoas de estabilização).

3.1 DESCRIÇÃO SUCINTA DAS ETAS E ETES OBJETOS DO ESTUDO

O esgoto, ao chegar à ETE Mairiporã, que trata 50 L/s, é submetido a um tratamento preliminar, constituído por gradeamento, seguido de uma unidade de desarenação de limpeza automática e medição de vazão em calha

Parshall. Na sequência, o esgoto é encaminhado para duas lagoas anaeróbias seguidas por duas facultativas. O efluente destas lagoas é conduzido para um sistema de chicanas, onde é clorado, e depois, lançado no córrego Itaim, afluente do rio Juqueri, Classe 2, que abastece o reservatório Paiva Castro, no município de Mairiporã, responsável pelo fornecimento de 4,4 m^3/s dos 33,0 m^3/s do Sistema Cantareira.

A ETE Barueri está situada a oeste da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP), tem capacidade nominal de 12,5 m^3/s e trata 7,5 m^3/s (média anual de 2009). O processo de tratamento é o de lodos ativados convencional. As eficiências de remoção médias obtidas na ETE estão em torno de 85% de DBO e de 42% de fósforo total, considerando-se os registros dos últimos três anos (SABESP/MTOB, 2007; 2008; 2009).

A ETA de Mairiporã é uma estação compacta, que possui uma unidade de flotação com ar dissolvido e filtros sob pressão. Os coagulantes (PAC ou sulfato férrico) são dosados diretamente na tubulação de água bruta. A desinfecção e a fluoretação também são realizadas em linha. A estação trata 70 m^3/h e o lodo, removido continuamente do flotador, é lançado na galeria de águas pluviais e daí, para a Represa de Paiva Castro.

A ETA Alto Cotia está situada a sudoeste da RMSP. É classificada como instalação do tipo convencional ou de ciclo completo, com unidades de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação. Possui capacidade nominal de 1,2 m^3/s e, atualmente, opera com vazão média de 1,0 m^3/s (SABESP/MATC, 2009). O lodo é removido do decantador manualmente e lançado diretamente no rio mais próximo, no mesmo local que a água de lavagem dos filtros.

3.2 PROCEDIMENTO DOS ENSAIOS

Os experimentos, no total de sete com o efluente das lagoas de estabilização e cinco com o efluente do sistema de lodos ativados, foram realizados em *Jar Test*. Amostras de dois litros de cada um dos efluentes dos sistemas de tratamento foram misturadas com diferentes dosagens de lodo, de 24 a 371 mg/L.

À mistura efluente-lodo, adicionou-se solução de 0,1M de HCl para diminuir o pH inicial de 7,0 para 6,5, valor ótimo encontrado por Chao (2006), quando testou o lodo de ETA em um sistema terciário precedido de lodos ativados. O pH foi reduzido para garantir um meio ligeiramente ácido, fundamental para a adsorção do fósforo pelos óxidos e hidróxidos de alumínio. O tempo de mistura foi de 30 minutos e o gradiente médio de velocidades, de 40 s^{-1}. Após a adsorção, o efluente permaneceu em repouso no próprio recipiente por 15 minutos, para separação das fases aquosa e sólida. O tempo de 15 minutos corresponde a uma velocidade de sedimentação de 7,2 m/dia.

É importante ressaltar que o gradiente escolhido de $40s^{-1}$ objetivou garantir o contato com a menor quebra dos flocos dos lodos, visando uma boa sedimentação. Valores maiores de gradiente de velocidade podem ser utilizados, porém, provavelmente, haverá maior ruptura dos flocos, o que implicará em projetos de decantadores com menores taxas de aplicação e por conseqüência, com necessidades de áreas muito maiores para implantação.

Após o período de sedimentação, foram retiradas amostras para determinação das concentrações de fósforo solúvel, turbidez e cor, segundo as técnicas descritas no "*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*", publicado pela APHA; AWWA; WEF (2005).

Verificou-se, durante os experimentos, que o efluente das lagoas de Mairiporã, ao contrário do efluente da ETE Barueri, apresentava cor de tom esverdeado, devido à elevada densidade de algas. Sabe-se que a cor de uma amostra de água está intimamente ligada à presença de sólidos dissolvidos e ácidos húmicos e fúlvicos. Portanto, resolveu-se investigar em ensaios adicionais, a remoção desse parâmetro nas mesmas condições operacionais citadas anteriormente. Ensaios também foram realizados para avaliar a remoção de fósforo total. As seguintes condições foram empregadas:

- Concentração inicial de fósforo total: 3,07 mgP/L (ensaio 1) e 3,20 mgP/L (ensaio 2);
- pH original das amostras: 6,9 (ensaio 1) e 7,0 (ensaio 2);
- pH final das amostras: 6,5;
- tempo de contato: 30min;
- gradiente médio de velocidades: 40 s^{-1};
- tempo de sedimentação de 15 minutos.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados de remoção de fósforo reativo dos efluentes dos dois sistemas atingiram patamares acima de 90% (concentração inicial de 2,90 mg P/L), com dosagem de 40 mg lodo/L em lodos ativados e 131 mg lodo/L (concentração inicial de 1,12 mg P/L) em efluentes de lagoas. Nestas condições, as concentrações de fósforo do efluente tratado foram de 0,01mg P/L. A Figura 1 mostra os resultados obtidos com os ensaios de jarros realizados com o efluente da ETE Mairiporã.

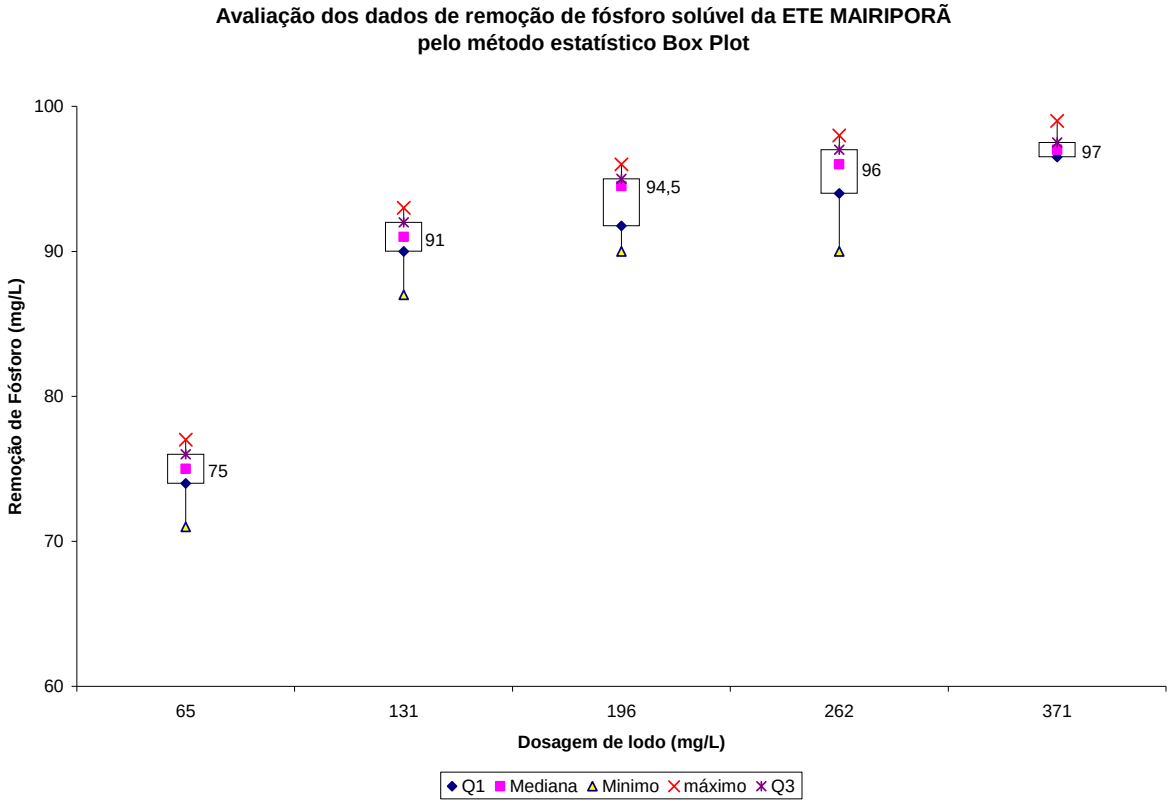


Figura 1 – Variação da remoção de fósforo no efluente do sistema de lagoas de estabilização em função da dosagem de lodo de ETA

A avaliação estatística mostra que os ensaios foram reprodutíveis (LEVINE et al , 2008). Ilustra, também, que a remoção de fósforo aumenta com o aumento da dosagem de lodo, alcançando remoção superior a 99,99% com dosagem de 371mg/L. Com exceção da dosagem de 65 mg/L, na qual se obteve remoção média de 76%, todas as demais mostraram eficiências de remoção acima entre 96%.

A Figura 2 ilustra os resultados obtidos nos ensaios realizados com o efluente da ETE Barueri.

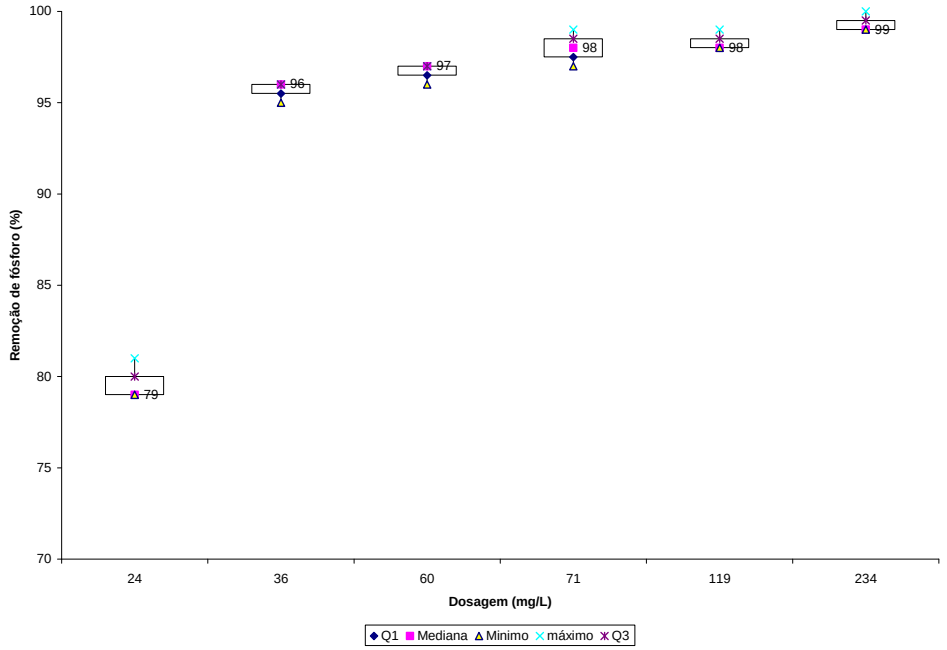


Figura 2 – Variação da remoção de fósforo no efluente do sistema de lodos ativados em função da dosagem de lodo de ETA

Comparando os resultados obtidos no experimento com a ETE Barueri com os da ETE Mairiporã, verifica-se que as elevadas densidades de algas, típicas de efluentes de lagoas representam grande influência na remoção de fósforo, devido ao recobrimento dos sítios ativos do lodo da ETA, o que exige maiores dosagens para uma determinada remoção de fósforo. As melhores eficiências de remoção de fósforo do efluente da ETE Mairiporã foram obtidas com dosagens de lodo de 131 mg/L (para uma menor concentração de fósforo), enquanto que para a ETE Barueri foi de 36 mg/L.

O efluente das lagoas de Mairiporã apresentou cor esverdeada, devido à elevada densidade de algas e por esse motivo, avaliou-se a eficiência de remoção de cor e turbidez desse efluente. A figura 3 mostra os resultados de remoção de turbidez com a dosagem de lodo da ETA Mairiporã.

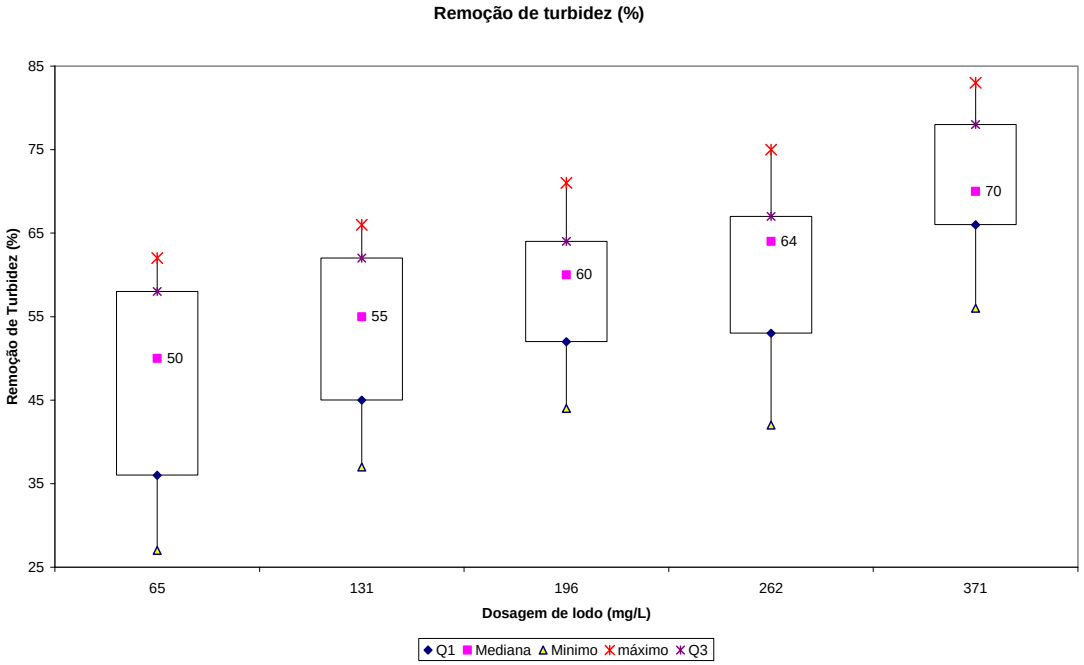


Figura 3 – Variação da remoção de turbidez no efluente das lagoas de estabilização com a dosagem de lodo de ETA

Verificou-se remoção média de 52% de turbidez para dosagem de 65 mg/L e de 71% para a dosagem de 371 mg/L (figura 3). Assim como nos resultados de fósforo, observa-se que a dosagem de 131mg/L é adequada para a remoção de turbidez (62%). Os bons resultados obtidos de remoção de cor, 43 a 47% para dosagem de 131mg de lodo/L, são um bom indicativo do potencial do lodo de PAC (figura 4) para o polimento de efluentes de lagoas. Sugere-se a realização de novas pesquisas para avaliação da remoção de clorofila–a e feofitina

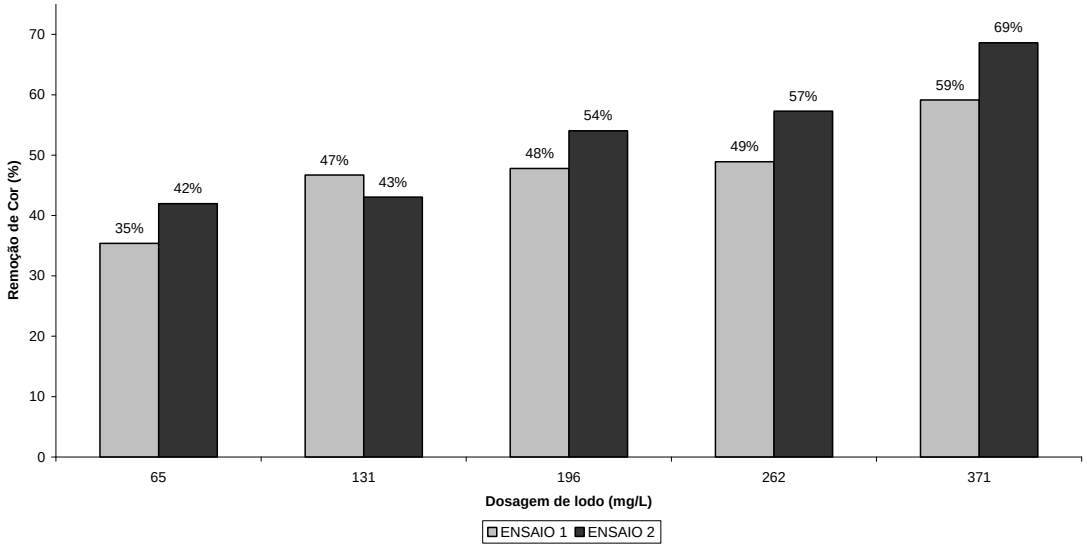


Figura 4 - Remoção de cor de efluente de lagoa de estabilização em diferentes dosagens de lodo de ETA

Os resultados da remoção de fósforo total (Tabela 1) mostram que há necessidade de um polimento com filtros de areia após o processo de adsorção, pois a máxima remoção foi de 73% para dosagem de 2274 mg/L.

Tabela 1 – Remoções de fósforo total do efluente da ETE Mairiporã obtidas nos ensaios de jarros com diferentes dosagens de lodo da ETA Mairiporã.

Dosagem de Lodo (mg/L)	Ensaio 1 Concentração inicial 3,07 (mg P/L)		Ensaio 2 Concentração inicial 3,20 (mg P/L)	
	Concentração final (mgP/L)	Remoção (%)	Concentração final (mgP/L)	Remoção (%)
401	1,56	49	1,58	51
803	1,13	63	1,14	64
1204	1,03	66	1,08	66
1605	0,85	72	0,89	72
2274	0,84	73	0,86	73

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa, para as condições operacionais estudadas, permitem concluir:

- A reciclagem de lodo produzido no processo de tratamento de água, que utiliza sais de alumínio como coagulante, é efetiva para a remoção de fósforo de efluentes de lagoas de estabilização e de lodos ativados, por meio da adoção de sistemas de tratamento em que o resíduo gerado nas estações de tratamento de água possam ser adicionadas em unidades complementares à jusante dos sistemas de tratamento biológico de esgotos.
- A concentração de fósforo reativo atingiu valores de 0,01 mg P/L nos efluentes do sistema de lodos ativados (concentração inicial de 2,90 mg P/L) e de lagoas de estabilização (concentração inicial de 1,12 mg/L) quando misturados, respectivamente, com dosagem de lodo de alumínio de 40 mg/L e 131 mg/L, em pH de 6,5; tempo de mistura de 30 minutos; gradiente de velocidade de 40 s^{-1} e tempo de sedimentação de 15 minutos, que corresponde a uma velocidade de 7,2 m/dia.
- Conseguiu-se remoção de 62% de turbidez e de 43 a 47% de cor no efluente das lagoas de estabilização (concentração inicial de 1,12 mg/L) com dosagem de lodo de alumínio de 131 mg/L; em pH de 6,5; tempo de mistura de 30 minutos; gradiente de velocidade de 40 s^{-1} e tempo de sedimentação de 15 minutos.
- Obteve-se remoção máxima de 73% de fósforo total com o tratamento do efluente das lagoas de estabilização (concentração inicial de 3,07 a 3,20 mgP/L e pH de aproximadamente 7,0) em pH de 6,5; tempo de contato de 30 minutos; gradiente médio de velocidades de 40 s^{-1} e tempo de sedimentação de 15 minutos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA;WEF (2005).American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21ª. ed., Washington, D.C, USA.
2. BASTA, N.T; E.A, DAYTON; GALLIMORE, L.E (1999) Nutrient adsorption capacity of water treatment residuals. In: proc. WEF/AWWA Joint Residuals and biosolids management conference, Charlotte, NC 27 a 30 Jan 1999, WEF, Arlington, V.A.
3. BASHAN, L.E; BASHAN, Y (2004) Recent advances in removing phosphorus from wastewater and its future use as fertilizier (1997-2003). Water Research 38 (2004) pp 4222-4246.
4. CORNWELL, D. A.; BURMASTER, J. W.; FRANCIS, J. L.; FRIEDLINE Jr., J. C.; HOUCK, C.; KING, P. H.; KOCKE, W. R.; NOVAK, J. T.; ROLAN, A. T.; SAN GIACOMO, R. (1987) Research Needs for Alum Sludge Discharge. **Journal American Water Works Association**, Denver, v. 79, n. 6, p. 99-104.
5. OBERACKER, F. E.; MAIER, D.; MAIER, M.; HAHN, H. H. (2002). Sustainable Handling of Arsenic-Containing Water Works Sludge. In: MANAGEMENT OF WASTES FROM DRINKING WATER TREATMENT, 2002, London. Procedings… London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, 2002. p. 233-45.
6. CHAO, I R S (2006) Remoção de fósforo de efluentes de estações de tratamento biológico de esgotos utilizando lodo de estação de tratamento de água. Dissertação de mestrado em Hidráulica e Saneamento - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 160p. São Paulo, Brasil. Disponível em: http: www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-14122006-145950/ - 16k -

7. DAYTON, E.A; BASTA, N.T. (2001). Characterization of drinking water treatment residuals for use as a soil substitute. Water Environment Research , vol.73, nº. 01 pp.52 –57.
8. DAYTON, E. A; BASTA, N. T. (2005). Use of Drinking Water Treatment Residuals as a Potential Best Management Practice to Reduce Phosphorus Risk Index Scores Journal Environ. Quality. (34): 2112-2117.
9. DAYTON, E. A; BASTA, N. T. (2005). Method for Determining the Phosphorus Sorption Capacity and Amorphous Aluminum of Aluminum-Based Drinking Water Treatment Residuals. Journal. Environ. Quality.34: 1112-1118.
10. ELLIOTT, H. A; O´CONNOR, G.A; L.U; BRINTON, S (2002) Influence of water treatment residuals on phosphorus solubility and leaching. Journal of Environmental Quality. 31:1362-1382.
11. GALARNEAU, E; GEHR, R (1997) Phosphorus removal from wastewaters: Experimental and theoretical support for alternative mechanisms. Water Research Volume 31, Issue 2 , February 1997, Pages 328-338
12. GALLIMORE, L.E; BASTA, N.T; STORM, D.E; PAYTON, M.E; HUNKE, R.H; SMOLEN, M.D (1999) Water treatment residual to reduce nutrients in surface runoff from agricultural land. Journal Environ. Qual. 28: 1474-1478.
13. HARRI, A.; BOSANDER, J.; ÖMAN, J.; BLOMBERG, J. (2002). Effects of Water Treatment Residuals on Sewage Treatment and Sludge Handling at Himmerfjärden Sewage Works, Sweden. In: MANAGEMENT OF WASTES FROM DRINKING WATER TREATMENT, 2002, London. Procedings. London: The Chartered Institution of Water and Environmental Management, 2002. p. 225-32.
14. KIM, J.G et al (2003) Removal capacity of water plant alum sludge for phosphorus in aqueous solutions. Chemical Speciation and Bioavailability , 14.
15. MAKRIS KC, EL-SHALL H, HARRIS WG, O'CONNOR GA, OBREZA TA (2004) “Intraparticle phosphorus diffusion in a drinking water treatment residual at room temperature” J Colloid Interface Sci. 2004 Sep 15;277(2):417-23
16. MORTULA M.; GAGNON G.A. (2006) Alum residuals as a low technology for phosphorus removal from aquaculture processing water. Aquacultural EngineeringVolume 36, Issue 3, May 2007, Pages 233-238.
17. MORTULA, M., AND GAGNON, G.A. 2007. Phosphorus Treatment of Secondary Municipal Effluent using Oven-Dried Alum Residual. Journal of Environmental Science and Health: Part-A 42(11): 1685-1691.
18. QUAGLIANO, J.V; VALLARINO, L.M . (1973).*Química*. Editora Guanabara- Koogan.
19. RAZOLI et al (2007) Effectiveness of a drinking-water treatment sludge in removing different phosphorus species from aqueous solution. Separation and Purification Technology 55 (2007) pp 300-306.
20. REIS, T.C (2002).Distribuição e biodisponibilidade do níquel aplicado ao solo como NiCl2 e biossólido. Tese de doutorado apresentada a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo , Piracicaba, SP.
21. RIVERA ESCOBAR, J.C. (2001). Tratamento e recuperação da água de lavagem dos filtros de uma estação de filtração direta e simulação da disposição dos lodos em estações de tratamento de esgoto. São Carlos, 2001. 144 p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
22. SABESP. MTOB Relatório Gerencial Interno. (2007;2008 e 2009)
23. SABESP. MTI Relatório Gerencial Interno.(2009)
24. STUMM, W (1992) “Chemistry of the solid – water interface: processes at the mineral-water and particle-water interface in natural systems/Werner Stumm: with contribuitions by Laura Sigg (chapter 11), and Barbara Sulzbger (chapter 10)” Wiley Interscience Publication, USA.
25. ZHAO Y, YANG Y, TOMLINSON D, KENNEDY S (2006) Dewatered alum sludge: a potential adsorbent for phosphorus removal. Water Science &Technology. Vol. 52, N°10-11: 525-532pp.
26. YANG, Y; ZHAO, YQ; KEARNEY, P; (2008) 'Influence of ageing on the structure and phosphate adsorption capacity of dewatered alum sludge'. Chemical Engineering Journal, 145 (2):276-284