

MISTURA DE RESÍDUO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA COM ESGOTO SANITÁRIO: EFEITOS SOBRE A REMOÇÃO DE FÓSFORO, PH E TURBIDEZ

Antônio Carlos de Oliveira Martins Júnior⁽¹⁾

Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheiro Civil e Ambiental (UNIVALE).

Roberta Arlêu Teixeira

Doutoranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Mestre em Engenharia Civil (UFES) e em Tecnologias Sustentáveis (IFES), Engenheira Sanitarista e Ambiental (IFES).

Viviana Parada Reina

Mestranda em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheira Ambiental e Sanitarista (Universidad de La Salle – Colômbia).

José Carlos Alves Barroso Júnior

Professor no IPA/POA, Doutor e Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheiro de Produção e Sistemas (UESC).

Maria Cristina de Almeida Silva

Professora no IPH/UFRGS, Doutora e Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheira de Bioprocessos e Biotecnologia (UERGS).

Antônio Domingues Benetti

Professor no IPH/UFRGS, Doutor em Engenharia Civil e Ambiental (Cornell University – EUA), Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS), Engenheiro Civil (UFRGS).

Endereço⁽¹⁾: Av. Bento Gonçalves, 9500 – Prédio 44302 (Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Pesquisa e Extensão) – Agronomia – Porto Alegre – Rio Grande do Sul - CEP: 91501-970 - Brasil - Tel: +55 (51) 99966-9322 - e-mail: antoniocomjr@gmail.com.

RESUMO

Resíduo de Estação de Tratamento de Água (RETA) pode ser utilizado no tratamento de esgoto sanitário para a remoção de fósforo, embora esta mistura possa afetar ou ser afetada pelo pH e turbidez do esgoto sanitário. Este estudo simulou o processo de coagulação, floculação e sedimentação em *JarTest* misturando RETA bruto, adensado e seco com esgoto sanitário para avaliar mudanças na remoção de fósforo, pH e turbidez do esgoto. A remoção de fósforo foi mínima pela adição de RETA ao esgoto sanitário e nenhum efeito foi observado relacionado à variação da dosagem de RETA aplicada nesse sentido. Contudo, RETA bruto e seco contribuíram para a remoção de turbidez e aumento do pH da mistura final, respectivamente. Ambos, o alto pH da mistura final e o pH neutro inicial do esgoto sanitário detectados, podem ter limitado a liberação de alumínio e então, a remoção de fósforo do esgoto sanitário. Inobstante, as máximas doses de RETA aplicadas podem ter sido insuficientes, dada a alta concentração de fósforo total existente no esgoto sanitário.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo de ETA, Remoção de nutrientes, Tratamento de Efluentes.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente presente na natureza em base rochosa, cuja gênese se dá envolvendo processos biogeoquímicos ao longo de milhões de anos (FILIPPELLI, 2011). O ser humano precisa do suprimento de P em seu organismo, o qual é obtido através do consumo de plantas e animais (CORDELL; WHITE, 2014; JOHNSTON, 2000).

Este nutriente, por sua vez, pode ser considerado um recurso finito, visto que na última década tem se destacado o debate e as incertezas científicas acerca do tamanho e longevidade das reservas de rocha de fosfato remanescentes na natureza (CORDELL; WHITE, 2014; FILIPPELLI, 2011). Há, inclusive, um consenso na literatura de que o início do esgotamento das reservas de fosfato globais está em um futuro bem próximo, ainda

no presente século (CORDELL; WHITE, 2014). Por este motivo, o fósforo já compõe a lista de matérias primas críticas da União Européia (EUROPEAN COMMISSION, 2017, p. 311).

Esse cenário está ligado à intervenção do ser humano no ciclo natural do fósforo, em que a sociedade o consome cada vez mais para diversos fins, sem que o mesmo seja recuperado. Do fósforo existente nos excrementos humanos, cerca de 1,3 milhões de toneladas métricas de P por ano são destinadas aos corpos hídricos. A partir dos excrementos humanos, o fósforo poderá ser encontrado no esgoto sanitário tratado e não tratado. A remoção de fósforo do esgoto sanitário, por conseguinte, acaba se tornando uma alternativa favorável ao uso sustentável do P na sociedade, possibilitando sua posterior recuperação como nutriente para usos na agropecuária ou em indústrias (CORDELL; WHITE, 2014).

A remoção de fósforo do esgoto sanitário ainda contribui para evitar que a parcela de fósforo dos excrementos humanos que chega aos corpos hídricos pelo lançamento de esgoto sanitário não tratado, aumente a incidência do fenômeno da eutrofização antrópica de rios e lagos. Este fenômeno está relacionado com o aumento da carga de nutrientes, resultando em efeitos prejudiciais sobre a biodiversidade e o ecossistema aquático em lagos, reservatórios e regiões costeiras, podendo ainda acarretar em grandes despesas na indústria da pesca (CORDELL; WHITE, 2014; FEUCHTMAYR ET AL., 2009; SMITH; SCHINDLER, 2009).

No Brasil existem leis e políticas para conter problemas ligados à eutrofização, embora apenas o Rio de Janeiro, Santa Catarina e Rio Grande do Sul contam com parâmetros específicos da carga de fósforo para lançamento de efluentes (MORAIS, DOS SANTOS, 2019). No Rio Grande do Sul, a Resolução CONSEMA Nº355/2017 dispõe critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos provenientes de fontes geradoras em águas superficiais (RIO GRANDE DO SUL, 2017). Em nível nacional, a Resolução CONAMA Nº 357/2005 (Brasil, 2005) estabelece as concentrações máximas de fósforo em função da classe e condições hidrodinâmicas do rio.

Do ponto de vista técnico, a precipitação química pode ser empregada para remoção de fósforo de esgoto sanitário. Este processo utiliza sais metálicos como floculantes auxiliares e suas vantagens para remoção de fósforo de esgoto sanitário consistem na possibilidade de aplicação dessa tecnologia em diversas etapas do tratamento (primário, secundário, terciário e reciclo do lodo), bem como a facilidade de instalação e operação e altas taxas de remoção de fósforo que podem ser alcançadas no tratamento (MORSE ET AL., 1998; TCHOBANOGLIOUS; BURTON; STENSEL, 2003).

O Resíduo de Estação de Tratamento de Água (RETA), por sua vez, pode ser considerado como um coagulante químico a ser empregado na precipitação química de fósforo em esgoto sanitário (MARGUTI, FERREIRA FILHO; PIVELI, 2018). O RETA é gerado no processo de tratamento de água de Ciclo Completo, o mais adotado no Brasil (IBGE, 2008), sendo proveniente de decantadores ou flotas e do processo de lavagem dos filtros (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Ressalta-se que existe uma problemática concernente à geração e disposição do RETA: em 2008 foi constatado que 1.415 municípios brasileiros destinavam o RETA a rios e apenas 50 municípios reaproveitavam o resíduo (IBGE, 2008). Para evitar impactos pela disposição *in natura* do RETA (aumento da turbidez, matéria orgânica, metais) (SOARES; ACHON; MEGDA, 2004), este resíduo deve ser classificado conforme a NBR 10004 (ABNT, 2004) e ser destinado a um aterro sanitário, atendendo à legislação (BRASIL, 2010). Para isso, ainda é necessário que o RETA passe por um processo de tratamento, envolvendo seu desaguamento e secagem. Tudo isso pode refletir em custos elevados, dependendo da quantidade e qualidade do RETA (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2012).

Dada a importância ambiental, social e econômica em remover P de esgoto sanitário, a adoção do RETA como coagulante químico no processo de remoção representa o uso benéfico e a destinação adequada do resíduo e ainda a contribuição para preservação dos recursos hídricos. Tudo isso justifica o aprofundamento de estudos que avaliem esse tipo de prática.

OBJETIVO

Avaliar o efeito da adição de Resíduo de Estação de Tratamento de Água bruto, adensado e seco, sobre a remoção de fósforo, pH e turbidez de esgoto sanitário bruto.

METODOLOGIA

Foi utilizado RETA do decantador do tipo *superpulsator* da Estação de Tratamento de Água (ETA) São João (30°00'50.8"S 51°11'06.5"O) – o processo de tratamento da ETA consiste no de Ciclo Completo e o coagulante aplicado é o PAC – Policloreto de alumínio (PORTO ALEGRE, 2015). O esgoto sanitário foi coletado na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) São João/Navegantes (29°59'29.0"S 51°11'43.5"O), que opera com processo de tratamento com lodos ativados convencional sem decantação primária e sem processo específico para remoção de fósforo. Ambas estações de tratamento estão situadas na cidade de Porto Alegre/RS (PORTO ALEGRE, 2015).

Foi realizado um ensaio experimental composto pelas etapas de amostragem; caracterização e preparo de amostras; teste de jarros; e análise do sobrenadante. Para cada ensaio experimental foi coletado uma amostra de 20 L de RETA (20 L) na ETA São João e uma amostra de 24 L de esgoto sanitário bruto (EB), ou seja, que ainda não foi submetido ao tratamento biológico. O ensaio laboratorial foi realizado no Laboratório de Saneamento do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Para caracterização física e química da amostra de RETA e esgoto sanitário, foram determinados os parâmetros dispostos na Tabela 1.

Tabela 1: Parâmetros e métodos para caracterização física e química dos materiais a serem utilizados no estudo.

Parâmetro	Unidade	Método ¹	Equipamento
Turbidez	NTU	2130 B	<i>Turbidímetro HACH - 2100N</i>
Condutividade	µS / cm	2510 B	<i>Condutivímetro de bolso K53-001 - KASVI</i>
Temperatura	° C	2550 B	
Sólidos totais	%	2540 G	-
pH	Unidade de pH	4500-H+	<i>Denver Instrument UB-10 pH/Mv Meter</i>
Demanda Química de Oxigênio	mg O ₂ / L	5220 C	-
Concentração de P Total	mg P / L	4500-P D	<i>Pró-Análise - UV-1600 Spectrophotometer</i>

Notas: (1) APHA (2005).

Foi utilizado RETA bruto, como coletado no decantador; RETA adensado por gravidade em cone *Imhoff* e/ou em *becker* pelo período de uma hora; e RETA seco em estufa por uma hora. Para o RETA adensado também foi determinado o teor de sólidos totais (%) disposto na Tabela 1.

Foram realizados três testes de jarros misturando, separadamente, o RETA bruto, adensado e seco com a amostra de EB. Para cada litro de esgoto coletado na ETE foi adicionado 100, 150 e 200 mL de RETA bruto; 12, 15 e 20 mL de RETA adensado; e 50, 60 e 80 mg de RETA seco. Um teste também foi realizado sem adição de RETA – a mistura controle. A mistura com cada dosagem de RETA foi feita em duplicata. Foram adotados tempos e velocidades de 2 min. e 100 rpm e 20 min. e 20 rpm para mistura rápida e lenta, respectivamente; o tempo de sedimentação foi de 30 min. Os mesmos parâmetros foram adotados por Nair e Ahammed (2015). O pH foi mantido equivalente ao do esgoto sanitário no momento de coleta na ETE. No fim de cada teste de jarros foi coletada em cada *becker* uma alíquota de 100 mL para determinação imediata do pH; em seguida, foram determinados a concentração de fósforo total e a turbidez.

Os dados obtidos foram analisados estatisticamente de forma descritiva utilizando gráficos de caixa e indutiva, pela Análise de Variância. A análise estatística foi feita no *software Microsoft Excel*. Os resultados foram apresentados como remoção de fósforo (P), para avaliar o efeito sobre a concentração de fósforo total do EB; variação do pH, considerando a subtração do pH final da mistura (RETA com esgoto sanitário) do pH inicial do EB; e os valores de turbidez da mistura final (RETA com EB). Foram analisadas também a relação do volume de RETA adicionado, ou a dosagem propriamente dita, com a remoção de P total, turbidez e pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização física e química do RETA e esgoto sanitário consta na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização física e química do RETA e esgoto sanitário utilizados no estudo.

Parâmetro	Unidade	RETA bruto	RETA adensado	Esgoto sanitário
Turbidez	NTU	446	-	220
Condutividade	$\mu\text{S} / \text{cm}$	101	-	611
Temperatura	$^{\circ} \text{C}$	22,4	-	22,7
Sólidos totais	%	0,09	0,4	0,09
pH	Unidade de pH	6,6	-	7
Demanda Química de Oxigênio	$\text{mg O}_2 / \text{L}$	254	-	530
Concentração de Fósforo Total	$\text{mg P} / \text{L}$	9 +/- 0,5	-	23 +/- 2

O teor de sólidos totais do RETA (0,09 %) extraído do decantador *superpulsator* é bastante baixo, mesmo quando o material é adensado por gravidade (0,4 %). Contudo, não se distinguiu da amostra composta das descargas de decantadores do tipo “convencional”, encontrado por Di Bernardo, Dantas, & Voltan (2012, p. 177). Os autores registraram valor para o RETA semelhante ao encontrado neste estudo para os sólidos totais, embora o pH encontrado pelos autores tenha sido de 8,9.

Para o esgoto sanitário bruto, o valor da concentração de P total obtido foi próximo do valor apresentado por Jordão e Pessoa (2017, pp. 40-50), que corresponde a 20 mg/L para “esgoto sanitário forte”. A alta concentração de fósforo do EB do presente estudo pode estar relacionada à descarga de resíduos de fossas sépticas ao afluente da ETE São João/Navegantes, que aconteceu no dia da coleta da amostra. Isso constitui um fator que certamente influencia os resultados esperados, quando se dispõe RETA no esgoto sanitário com o intuito de remover fósforo.

Na Figura 1 podem ser vistos dois dos três ensaios experimentais realizados no *JarTest*, em que foram misturados ao EB o RETA bruto (esquerda) e RETA adensado (direita). A imagem da mistura com o RETA bruto foi registrada antes do tempo de sedimentação terminar, ou seja, antes do final do teste, sendo possível observar alguns sólidos ainda em suspensão. E a imagem da mistura com o RETA adensado foi registrada no final do teste.

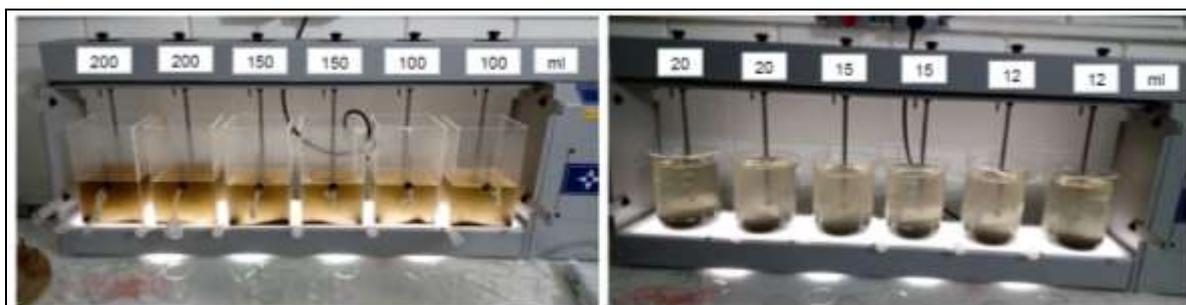


Figura 1: Final do ensaio em Jarrest misturando RETA bruto e adensado ao esgoto sanitário bruto.

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, é possível constatar que o maior valor de remoção de P total foi de 73%, quando foi utilizado 50 mg de RETA seco. O menor valor corresponde a 63%, quando se utilizou 12 e 15 mL de RETA adensado. A mistura controle (sem adição de RETA) apresentou remoção de fósforo total no sobrenadante equivalente a 67%, com uma variação de quase 10 mg P/L. Em relação ao pH, o maior valor registrado na mistura

final foi de 7,1 para todas as adições de RETA seco. O menor valor foi de 6,65, quando se utilizou 150 mL de RETA bruto. A mistura controle apresentou pH médio de 6,8. Para a turbidez final, o maior valor foi de 44 NTU, na amostra controle. O menor valor foi de 33 NTU, quando se adicionou 200 mL de RETA bruto.

Tabela 3: Valores médios absolutos do resultado da análise do sobrenadante da mistura de RETA com esgoto sanitário.

Dose de RETA/Parâmetro analisado		pH	Turbidez (NTU)	Remoção de Fósforo Total (%)
Mistura controle	0	6,8	44 +/- 0,5	67 +/- 8,5
Bruto (mL)	100	6,7 +/- 0,1	38 +/- 1	64
	150	6,65	35,5 +/- 1,5	67 +/- 1
	200	6,8	33	70
Adensado (mL)	12	6,9 +/- 0,2	39 +/- 1	63
	15	6,9 +/- 0,15	40 +/- 1,5	63 +/- 4
	20	7 +/- 0,05	38 +/- 1	69 +/- 3
Seco (mg)	50	7,1 +/- 0,05	40,5 +/- 0,5	73
	60	7,1 +/- 0,05	42,5 +/- 0,5	64 +/- 3
	80	7,1 +/- 0,05	42 +/- 2,5	70 +/- 4

Na Figura 2 é apresentada uma análise descritiva da Remoção de P total, a partir da adição de RETA no EB. As remoções obtidas ficaram entre 60 e 73%. A adição de RETA seco resultou em uma variação de remoção de P relativamente maior, em relação à adição de RETA bruto e adensado. Dessa forma, não houve grande eficiência de remoção de fósforo total no esgoto sanitário com a adição de RETA do decantador *superpulsator*. Além disso, não foi observada variação significativa na remoção de fósforo entre as diferentes formas de disposição de RETA (bruto, adensado e seco). Estes resultados podem refletir que o RETA foi consumido para remoção de matéria orgânica e turbidez do esgoto sanitário, ou até mesmo que a maior parte do alumínio presente no RETA ainda esteja ligado às substâncias úmicas (GEORGANTAS E GRIGOROPOULOU, 2005).

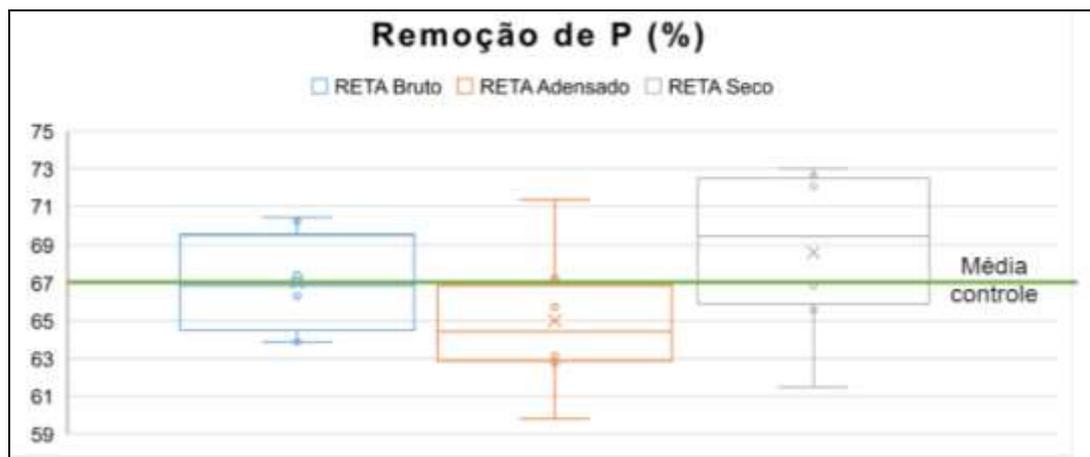


Figura 2: Remoção de fósforo total do esgoto sanitário bruto após adição de RETA.

Em contrapartida, foi notada variação no pH do esgoto sanitário bruto após a adição de RETA seco (Figura 3). O uso deste aumentou o pH da mistura (+0,12), ao contrário do que aconteceu para o RETA bruto (-0,24). O RETA adensado, por sua vez, apresentou variação de pH mais diversificada, com média negativa (-0,04) e inferior a alcançada pela adição de RETA seco. A amostra controle apresentou variação de pH média negativa (-0,15), sendo diferente das médias de quando se adicionou qualquer forma de RETA. É importante ressaltar que nenhum dos valores de variação de pH observados neste estudo alcançaram 0,5 unidade, ou seja, a variação do pH pode ser considerada pequena.

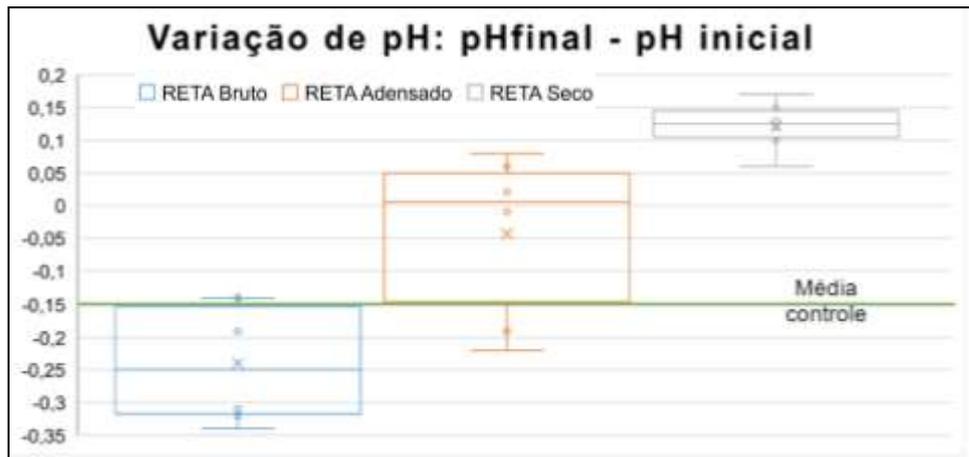


Figura 3: Variação de pH – pH final da mistura (esgoto sanitário com RETA) menos o pH inicial do esgoto sanitário.

Resultados similares aos encontrados para o pH foram observados para a turbidez da mistura final de esgoto sanitário com RETA (Figura 4). A turbidez após a adição de qualquer forma de RETA (bruto, adensado e seco) variou entre 33 e 44 NTU, sendo sempre inferior à da mistura controle, indicando que o RETA contribuiu para remoção de turbidez do esgoto sanitário. O uso de RETA seco apresentou maiores valores de turbidez final, enquanto pela adição de RETA bruto foram observados os menores valores. Com a adição de RETA adensado, a turbidez final sofreu menor variação, em relação às demais formas de disposição do RETA, resultando em valores entre 38 e 40 NTU.

Assim como indicado pela análise estatística descritiva, a partir da Análise de Variância também não foi notada diferença estatisticamente significativa na remoção de P entre as diferentes formas de disposição de RETA – bruto, adensado e seco.

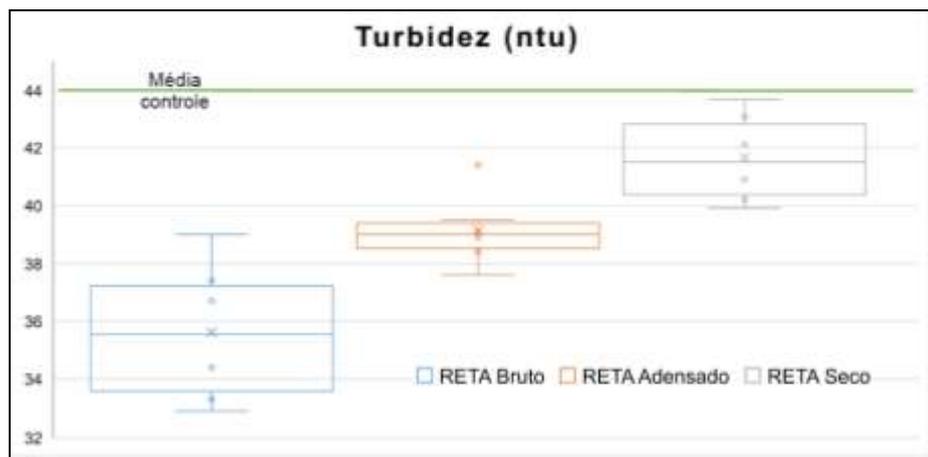


Figura 4: Turbidez da mistura de esgoto sanitário com RETA.

Contudo, as diferentes formas de adição de RETA influenciaram significativamente a variação de pH e a turbidez final do esgoto sanitário (pH: $p < 0,05$ $F_{(2,15)} = 21,85$; Turbidez: $p < 0,05$ $F_{(2,15)} = 16,38$). Quando foi utilizado RETA bruto, embora a remoção de P não tenha variado em função das diferentes dosagens aplicadas (100, 150 e 200 mL), o pH e a turbidez foram influenciados (pH: $p < 0,05$ $F_{(3,4)} = 7,22$; Turbidez: $p < 0,05$ $F_{(3,4)} = 39,5$). Para a turbidez, inclusive, existe uma intensa relação inversamente proporcional com o volume de RETA bruto adicionado ao EB ($R=1$) (Figura 5).

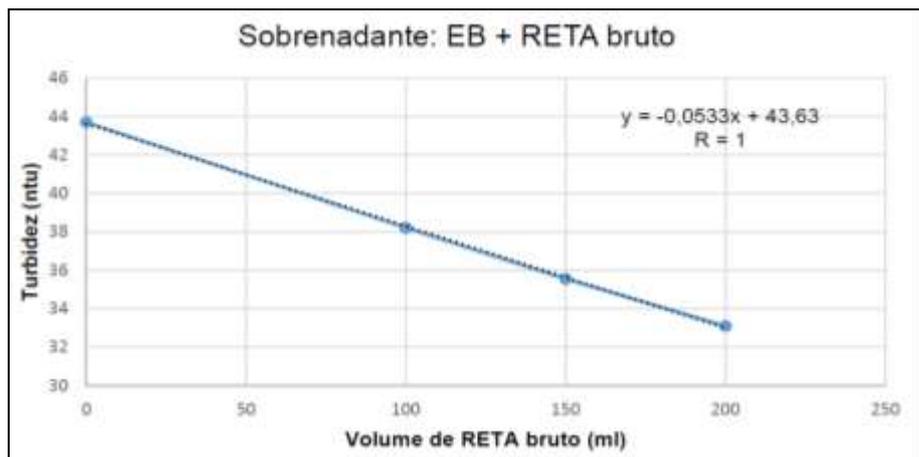


Figura 5: Relação entre a turbidez da mistura de esgoto sanitário com RETA bruto e o volume de RETA aplicado.

Quando se utilizou o RETA adensado, o mesmo se observa para a turbidez do sobrenadante do *JarTest*, porém com uma tendência menos forte ($R=0,93$) (Figura 6).

Pela disposição de RETA seco ao esgoto sanitário, o único parâmetro que apresentou efeito das diferentes massas de RETA adicionadas foi o pH ($p < 0,05$ $F_{(3,4)} = 29,12$), sendo que, ao contrário da turbidez nos casos anteriores, a relação observada foi direta (Figura 7).

O pH neutro inicial do esgoto sanitário (Tabela 2) pode ter influenciado a disponibilidade de alumínio do RETA na mistura, desfavorecendo a captação de fosfato existente no esgoto sanitário, uma vez que a maior liberação de alumínio do RETA costuma ocorrer em pH ácido e o processo de remoção de P, por sua vez, é fortemente condicionado pelo pH (MORTULA E GAGNON, 2007; NAIR E AHAMMED, 2015).

Outra explicação para a baixa eficiência de remoção de P pela adição de RETA pode estar relacionada à alta concentração de fósforo total detectada no esgoto sanitário coletado na ETE São João Navegantes, o que é decorrente do despejo de resíduo de fossa séptica no afluente da estação. Logo, para a elevada concentração de P total no esgoto, o máximo volume ou massa de RETA aplicado, pode não ter sido suficiente para promover a remoção do fósforo, uma vez que a dosagem de RETA está diretamente relacionada com a remoção de P do esgoto sanitário (CHAO, 2006; CHAO, YABROUDI E MORITA, 2011).

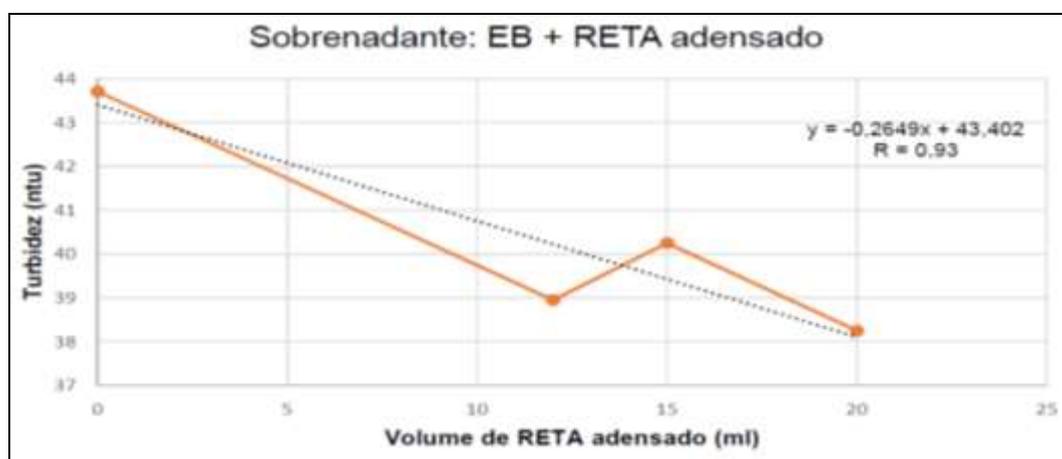


Figura 6: Relação entre a turbidez da mistura de esgoto sanitário com RETA adensado e o volume de RETA aplicado.

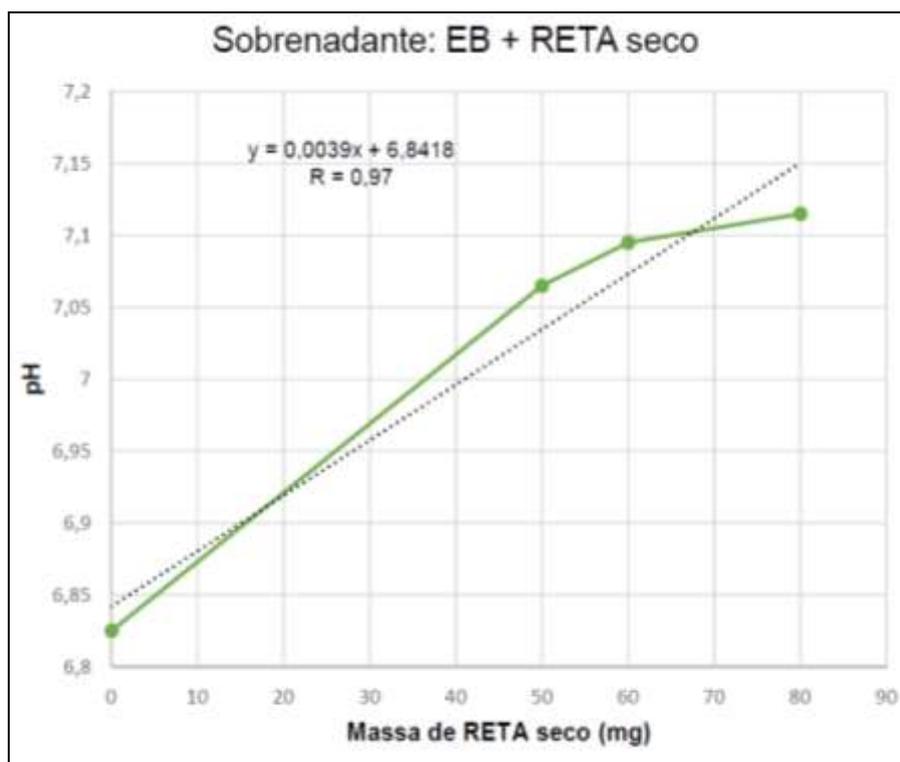


Figura 7: Relação entre o pH final da mistura de esgoto sanitário com RETA seco e a massa de RETA aplicado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A mistura de RETA de alumínio de decantador do tipo *superpulsator* com esgoto sanitário resultou na maior remoção de fósforo total de 73%, pela adição de 50 mg de RETA seco, o que é próximo do 67% obtido na mistura controle (sem adição de RETA). Evidentemente, a adição de RETA ao esgoto sanitário, independente da forma – bruto, adensado e seco – demonstrou mínima eficiência de remoção de fósforo total. Esse resultado pode estar relacionado com o pH neutro inicial do esgoto sanitário, com o uso de RETA para remoção de matéria orgânica e/ou turbidez e com a alta concentração de fósforo total existente no esgoto sanitário, decorrente do despejo de fossa séptica.

No entanto, o RETA úmido, principalmente disposto na forma bruta, auxiliou na redução de turbidez do esgoto sanitário.

Quanto ao pH, este aumentou com maiores massas de RETA seco, enquanto o RETA bruto resultou nos menores valores de pH.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho não poderia ter sido realizado sem o apoio do Núcleo de Estudos em Saneamento Ambiental – NESA, do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – IPH/UFRGS, bem como sem a cooperação do Departamento Municipal de Água e Esgoto da cidade de Porto Alegre-RS – DMAE e o financiamento da bolsa de estudo pela agência de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

REFERÊNCIAS

1. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10004*: Resíduos sólidos – Classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

2. APHA - American Public Health Association. (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. (21ª ed.). Washington: American Public Health Association. 937 f.
3. BRASIL. *Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010*. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em: 18 nov. 2019.
4. _____. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução nº 357, de 17 de março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005a. 27 p. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 19 nov. 2019.
5. CHAO, I. R. S. *Remoção De Fósforo De Efluentes De Estações De Tratamento Biológico De Esgotos Utilizando Lodo De Estação De Tratamento De Água*. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
6. CHAO, I. R. S.; YABROUDI, S. C.; MORITA, D. M. Remoción de fósforo de efluentes de lagunas de estabilización empleando lodo de estaciones de tratamiento de agua. *Interciencia*, Caracas, v. 36, p. 774–778, 2011.
7. CORDELL, D.; WHITE, S. Life's Bottleneck: Sustaining the World's Phosphorus for a Food Secure Future. *Annual Review of Environment and Resources*, Palo Alto, v. 39, n. 1, p. 161–188, 2014.
8. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P. E. N. *Métodos e Técnicas de Tratamento e Disposição dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água*. São Carlos: LDiBe Editora, 2012.
9. EUROPEAN COMMISSION. *Study on the review of the list of Critical Raw Materials - Critical Raw Materials Factsheets*. 2017. Bruxelas. Disponível em: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7345e3e8-98fc-11e7-b92d-01aa75ed71a1/language-en>. Acesso em: 23 out. 2019.
10. FEUCHTMAYR, H.; MORAN, R.; HATTON, K.; CONNOR, L.; HEYES, T.; MOSS, B.; HARVEY, I.; ATKINSON, D. Global warming and eutrophication: Effects on water chemistry and autotrophic communities in experimental hypertrophic shallow lake mesocosms. *Journal of Applied Ecology*, Londres, v. 46, n. 3, p. 713–723, 2009.
11. FILIPPELLI, G. M. Phosphate rock formation and marine phosphorus geochemistry: the deep time perspective. *Chemosphere*, [s. l.], v. 84, n. 6, p. 759–66, 2011.
12. GEORGANTAS, D. A.; GRIGOROPOULOU, H. P. Phosphorus removal from synthetic and municipal wastewater using spent alum sludge. *Water Science and Technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research*, Londres, v. 52, n. 10–11, p. 525–32, 2005.
13. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB*. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2008. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/multidominio/meioambiente/9073-pesquisa-nacional-de-saneamento-basico.html?=&t=resultados>. Acesso em: 13 nov. 2019.
14. JOHNSTON, A. E. *Soil and Plant Phosphate*. Paris: International Fertilizer Industry Association, 2000.
15. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 8a ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2017.
16. MARGUTI, A. L.; FERREIRA FILHO, S. S.; PIVELI, R. P. Full-scale effects of addition of sludge from water treatment stations into processes of sewage treatment by conventional activated sludge. *Journal of Environmental Management*, [s. l.], v. 215, p. 283–293, 2018.
17. MORAIS, N. W. S.; DOS SANTOS, A. B. Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil. *Revista DAE*, [s. l.], v. 67, n. 215, p. 40–55, 2019.
18. MORSE, G. K.; BRETT, S. W.; GUY, J. A.; LESTER, J. N. Review: Phosphorus removal and recovery technologies. *Science of the Total Environment*, [s. l.], v. 212, n. 1, p. 69–81, 1998.

19. MORTULA, Md. M.; GAGNON, G. A. Phosphorus treatment of secondary municipal effluent using oven-dried alum residual. *Journal of environmental science and health. Part A, Toxic/hazardous substances & environmental engineering*, Londres, v. 42, n. 11, p. 1685–91, 2007.
20. NAIR, A. T.; AHAMMED, M. M. Water treatment sludge for phosphate removal from the effluent of UASB reactor treating municipal wastewater. *Process Safety and Environmental Protection*, [s. l.], v. 94, n. C, p. 105–112, 2015.
21. PORTO ALEGRE. *Plano Municipal de Saneamento Básico: Volume 1 – Diagnóstico*. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2015. Disponível em: http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/01_pmsb_diagnostico_web.pdf. Acesso em 10 fev.2020.
22. RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. *Resolução CONSEMA no 355/2017*. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS: Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável - Conselho Estadual do Meio Ambiente, 2017. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/upload/arquivos/201707/19110149-355-2017-criterios-e-padroes-de-emissao-de-efluentes-liquidos.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.
23. SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? *Trends in Ecology and Evolution*, [s. l.], v. 24, n. 4, p. 201–207, 2009.
24. SOARES, L. V.; ACHON, C. L.; MEGDA, C. R. Impactos ambientais provocados pelo lançamento in natura de lodos provenientes de estações de tratamento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM RESÍDUOS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, 2004, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável, 2004, p. 248-257. Disponível em: <https://www.ipen.br/biblioteca/cd/ictr/2004/ARQUIVOS%20PDF/08/08-020.pdf>. Acesso em 19 nov. 2019.
25. TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F. L.; STENSEL, H. D. *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. 4 ed. Nova Iorque: McGraw-Hill Higher Education, 2003.