

■ ■ ■ artigos técnicos

# Reúso do Coagulante Recuperado do Lodo de ETA no Tratamento Terciário do Efluente de Lagoa de Polimento Precedida de Reator RALF

*Reuse of The Coagulant Recovered From WTP Sludge For Tertiary Treatment of Effluent of Stabilization Pond Preceded By Uasb Reactor*

Marcelo de Julio\*

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), Especialista em Gestão da Produção pela UFSCar e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Professor Adjunto da Divisão de Engenharia Civil do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA).

Fabiano Icker Oroski

Químico pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Coordenador Industrial da Unidade Regional Ponta Grossa da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR).

Murilo Noslen Oliveira dos Santos

Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) e Tecnólogo em Alimentos pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Tatiane Sakamoto De Julio

Acadêmica do Curso de Engenharia Civil pela Universidade de Taubaté (UNITAU).

Endereço: \* Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Divisão de Engenharia Civil, CTA – ITA – IEI, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50, Vila das Acácias. CEP 12.228-900, São José dos Campos – São Paulo – Brasil. Tel: 55 12 3947-6800. Fax: 55 12 3947-6803, e-mail: dejulio@ita.br.

**Data de Entrada:**  
01-07-2009

**Data de Aprovação:**  
19-05-2010

## RESUMO

Nesta pesquisa, foi realizado o estudo da recuperação do coagulante (cloreto de polialumínio) presente no lodo da estação de tratamento de água (ETA) Pitangui operada pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) em Ponta Grossa/PR, sendo este reutilizado no tratamento terciário (coagulação, floculação, decantação e filtração) do efluente da estação de tratamento de esgoto (ETE) Verde da SANEPAR, a qual emprega reator anaeróbico de fluxo ascendente em manto de lodo (RALF) seguido de lagoa de polimento, tratando o esgoto sanitário do município. A solução de coagulante recuperado (por via ácida) apresentou concentração de 130 mgAl/L. Obteve-se como resultados mais significativos concentração de fósforo de 0,6 mg/L, concentração de sólidos sedimentáveis < 0,1 mg/L e demanda química de oxigênio (DQO) abaixo do limite de detecção do método para o efluente decantado após passar pelo tratamento físico-químico.

## ABSTRACT

In this research it was studied the recovery of the coagulant (polyaluminium chloride) presented in the sludge of Pitan-

gui water treatment plant (WTP) managed by Parana Sanitation Company (SANEPAR) from Ponta Grossa/PR/Brazil. The recovered coagulant was applied on tertiary treatment (coagulation, flocculation, decantation and filtration) of SANEPAR's Verde wastewater treatment plant effluent, which uses upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor followed by stabilization pond in order to treat sanitary wastewater. The concentration of 130 mgAl/L in recovered coagulant solution was obtained using acid via method. The most significant results obtained include phosphorous concentration of 0,6 mg/L, settleable solids concentration of < 0,1 mg/L, and chemical oxygen demand (COD) below the method detection limit for the decanted effluent after pass by physical-chemical treatment.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reúso; Recuperação de Coagulante; Lodo de ETA; Tratamento Terciário; Reator RALF; Remoção de Fósforo.

**KEYWORDS:** Reuse; Recovery of Coagulant; WTP Sludge; Tertiary Treatment; UASB Reactor; Phosphorus Removal.

## INTRODUÇÃO

Dentre as tecnologias de tratamento de água, o tratamento em ciclo completo, ou sistema tradicional, é utilizado pela maioria das ETAs que estão em operação. Os resíduos (Lodo de Estação de Tratamento de Água – LETA) gerados nesse sistema são geralmente lançados in natura no ambiente, normalmente em cursos de águas próximos às ETAs. Essa prática está em desacordo com a legislação vigente, pois pode alterar consideravelmente as características desse corpo receptor (CORDEIRO, 1999).

Vários métodos e técnicas vêm sendo estudados e propostos para o tratamento do LETA. Há algumas décadas, vêm sendo estudada a recuperação do coagulante utilizado no tratamento da água, existindo distintos processos. Dentre eles a recuperação ácida, processo no qual o sobrenadante, que consiste em uma solução do coagulante, é separado para reúso, tornando possível o encaminhamento dos sólidos resultantes para tratamento e destinação final adequada. Este processo conduz a uma grande redução no volume e teor de sólidos existente no LETA, com conseqüente minimização dos custos e dos problemas associados à sua disposição final (RICHTER, 2001).

De acordo com Freitas et al. (2004), estudos levantaram problemas em relação à qualidade do coagulante recuperado, o qual pode conter concentração mais elevada de poluentes, como metais pesados. A sua utilização em sistemas de abastecimento de água pode comprometer a qualidade da água a ser distribuída à população. Portanto, é mais adequado que o coagulante recuperado seja utilizado em outros processos e não no tratamento de água para abastecimento. Uma das alternativas

para o reúso do coagulante obtido pela recuperação é a aplicação em sistemas de esgotos sanitários.

A aplicação de coagulante recuperado no tratamento físico-químico de esgotos pode ser uma estratégia mais viável para disposição deste tipo de resíduo. Esta prática reduz a quantidade de resíduos necessitando de disposição final em uma ETA e, além disso, o lodo poderá ser mais facilmente transportado para a ETE, a qual normalmente dispõe de unidades específicas para seu tratamento, além de reduzir consideravelmente o teor de alumínio (coagulante mais empregado em ETAs) no LETA, o qual pode ser prejudicial aos processos biológicos de tratamento (GONÇALVES et al., 1999).

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo tornaram-se consagrados no Paraná e no Brasil, pois vem sendo utilizados de maneira extensiva no tratamento de esgotos e efluentes em geral, recebendo junto a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) o nome de RALF (Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado). Devido aos processos anaeróbios não atenderem totalmente os padrões de lançamento de efluentes em corpos d'água exigidos pela legislação brasileira está sendo estudada em escala piloto e mesmo em escala real novas alternativas para o pós-tratamento destes processos (AISSE & ALEM SOBRINHO, 2001).

Na ETE Verde de Ponta Grossa, o pós-tratamento do reator RALF é realizado por lagoa de polimento. Segundo Cavalcanti et al. (2001), embora as lagoas de polimento aumentem a remoção de sólidos e matéria orgânica, este tipo de tratamento ainda apresenta baixa eficiência de remoção de fósforo. Isto as faz pouco atrativas para os propósitos de controle da eutrofização, sendo necessário e importante reduzir ao máximo o teor de fósforo, para evitar o crescimento exacerbado de algas, que pode prejudicar a qualidade da água devido ao processo de eutrofização.

Alem Sobrinho e Samudio (2000) relatam que para evitar a eutrofização de corpos de água (rios, lagos e reservatórios), basta controlar o fósforo afluente aos mesmos, pois outros nutrientes, especificamente o nitrogênio, não é o elemento limitante, porque o mesmo pode entrar nos corpos d'água diretamente quando capturado e fixado da atmosfera na forma de gás por algumas algas que o transformam em nitrogênio assimilável para o seu crescimento. Desta forma, parece ser razoável que uma forma racional de se evitar o fenômeno de eutrofização poderia ser com o tratamento dos esgotos sanitários, antes de seu lançamento, por meio de um processo que seja capaz de realizar a remoção de fósforo.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a recuperação do coagulante presente no lodo gerado na ETA Pitangui do município de Ponta Grossa/PR e reutilizar este coagulante recuperado no tratamento terciário do efluente da ETE Verde, a qual emprega reator RALF seguido de lagoa de polimento.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para a recuperação do coagulante foram coletados cerca de 100 L do LETA das descargas de fundo dos decantadores (de alta taxa com descarga hidráulica de lodo) da ETA Pitangui (tratamento em ciclo completo ou conven-

cional) da SANEPAR em Ponta Grossa/PR. Procurou-se coletar o lodo do início da descarga, o qual apresentava-se mais concentrado. Na data de coleta do LETA para a recuperação a dosagem de coagulante (cloreto de polialumínio – PAC) na referida ETA era de 60 mg/L (produto comercial, líquido, com concentração de  $Al_2O_3$  de 11,17%).

O processo de recuperação do coagulante foi realizado em escala de bancada, utilizando como reator o equipamento jartest (Nova Ética) no Laboratório de Saneamento da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

A recuperação foi realizada em processo de batelada, onde cada um dos 6 jarros que compõem o equipamento foi preenchido com 2 litros do LETA previamente homogeneizado. Os agitadores foram ajustados para manter sua rotação em 150 rpm (gradiente de velocidade de aproximadamente 185 s<sup>-1</sup>). Assim que se ligou os agitadores foi dosado cerca de 20 mL de ácido sulfúrico 5N (2450 mg/L) em cada jarro, com o objetivo de manter o pH em torno de 2. O processo de acidificação foi mantido por um período de 10 minutos, o qual segundo estudo de Freitas et al. (2004) é suficiente para recuperação do alumínio presente no LETA. Com a utilização de um potenciômetro de bancada (B474 Micronal) foi realizado o monitoramento do pH durante o processo de acidificação, sendo que o pH manteve-se em uma faixa de 1,5 a 2,0.

Decorrido os 10 minutos da acidificação, os agitadores do jartest foram desligados e levantadas as paletas para ocorrer a operação de sedimentação dos sólidos. Após 20 minutos de sedimentação iniciou-se a separação do sobrenadante. Procurou-se obter o maior volume possível do sobrenadante (coagulante recuperado) em relação aos sólidos depositados no fundo do jarro. Em média de cada 2 L de LETA foi possível obter cerca de 1,8 L de coagulante recuperado, obtendo-se um total de cerca de 90 L de coagulante recuperado (utilizando-se da metodologia descrita para todos os ensaios). Após a homogeneização de todo o coagulante recuperado foi realizada a coleta de uma amostra para a determinação da concentração de alumínio.

O coagulante recuperado foi armazenado em um reservatório de PVC provido de tampa.

Para a realização dos ensaios de tratabilidade foi realizada a coleta de cerca de 800 L do efluente da lagoa de polimento (a qual é precedida de reator RALF, caixa de areia e grade) da ETE Verde da SANEPAR em Ponta Grossa/PR, a qual trata esgoto sanitário, antes do descarte no Rio Verde. A coleta foi pontual realizada na data de 18 de Fevereiro de 2009, por volta das 14:30 h.

Os ensaios de tratabilidade do efluente (tratamento terciário físico-químico) foram realizados no equipamento jartest (Nova Ética, modelo LDB especial), no qual foram realizados os processos e operações de mistura rápida, floculação, decantação e filtração (em batelada), sendo a metodologia para a execução dos ensaios descrita em Di Bernado et al. (2002).

Para a construção dos diagramas de coagulação, propostos inicialmente por Amirtharajah e Mills (1982), foram realizados 21 ensaios, totalizando 126 condições diferentes. Para realizar a correção do pH para faixa desejada foram utilizadas soluções de ácido clorídrico (HCl)

0,1 N como agente acidificante e hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N como agente alcalinizante. A temperatura do efluente a ser tratado foi de  $22 \pm 1$  C em todos os ensaios.

Os parâmetros utilizados nos ensaios de jarrest encontram-se na Tabela 1.

**Tabela 1 – Parâmetros físicos adotados para a construção dos diagramas de coagulação**

Parâmetro	Valor
Tempo de mistura rápida ( $T_{mr}$ )	10 s
Gradiente de velocidade médio de mistura rápida ( $G_{mr}$ )	$1000 \text{ s}^{-1}$
Tempo de floculação ( $T_f$ )	20 min
Gradiente de velocidade médio de floculação ( $G_f$ )	$25 \text{ s}^{-1}$
Velocidades de sedimentação ( $V_s$ )	$V_{s1} = 3,0 \text{ cm/min}$ $V_{s2} = 1,5 \text{ cm/min}$ $V_{s3} = 0,5 \text{ cm/min}$

O acompanhamento dos valores de pH de coagulação foi feito por meio da leitura em potenciômetro logo após o término do tempo de mistura rápida. As medidas de turbidez foram realizadas em um turbidímetro (DM-C2 Digimed), para as três velocidades de sedimentação descritas na Tabela 1.

Após a realização de todos os ensaios, foram selecionados dois pontos nos diagramas de coagulação e re-realizadas as réplicas. Ao mesmo tempo em que se fizeram as réplicas também se avaliou a influência da velocidade de sedimentação, sendo estudadas as seguintes velocidades: 7,0; 5,0; 3,5; 2,5; 1,5; 0,5 cm/min. Em seguida selecionou-se uma velocidade de sedimentação considerada mais adequada, a qual foi empregada na realização dos ensaios para a coleta das amostras para serem medidos os parâmetros pH, turbidez, cor aparente, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo, DQO e sólidos sedimentáveis.

As medidas e determinações foram feitas de acordo com Eaton et al. (2005). As medidas de nitrogênio, fósforo e alumínio foram enviadas para laboratório externo (Interpatner, Ponta Grossa/PR). As medidas de DQO foram realizadas no laboratório da Masisa do Brasil (planta Ponta Grossa), seguindo o método 8000 da HACH para o DR2500.

Para a caracterização do efluente tratado após a realização do processo físico-químico, foi selecionado um ponto e uma velocidade de sedimentação que conduziram a resultados satisfatórios em relação à remoção de turbidez, e então realizados quatro repetições deste ensaio para obter-se o volume necessário para realização das análises mencionadas, sendo que no último ensaio o efluente decantado também foi filtrado, e ambas as amostras (efluente decantado e filtrado) foram enviadas para análises.

Para a filtração empregou-se um kit de FLA (Filtro de Laboratório de Areia), que possui diâmetro interno de 19 mm e meio filtrante constituído de areia, com 15 cm de espessura.

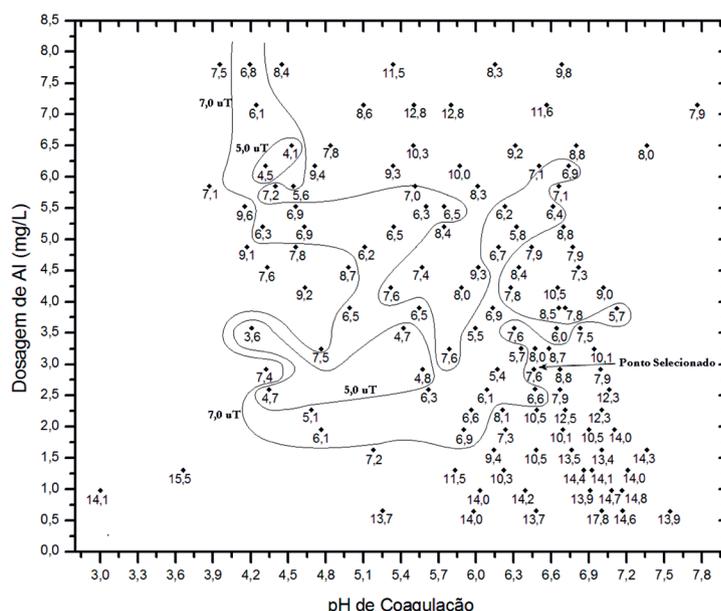
O tamanho efetivo da areia foi de 0,45 mm, tamanho mínimo e máximo de, respectivamente, 0,33 e 1,37 mm e coeficiente de desuniformidade de 1,60; a vazão média de filtração foi de 16 mL/min (correspondente a uma taxa de filtração de aproximadamente  $80 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ) e a coleta se deu para o tempo médio de filtração de 20 min. Para a realização deste ensaio seguiu-se a metodologia proposta por Di Bernardo et al. (2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A solução de coagulante recuperado apresentou concentração de Al de 130 mg/L.

Durante o período de realização dos ensaios de tratabilidade (3 dias) o efluente em estudo (esgoto tratado biologicamente na ETE Verde) não sofreu alterações significativas de pH e turbidez, mantendo uma média de pH de  $7,24 \pm 0,05$  e turbidez de  $12,95 \pm 1,8 \text{ uT}$ .

Observa-se na Figura 1 que para a velocidade de sedimentação de 3 cm/min (correspondendo a uma taxa de decantação de  $43,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ) nenhum dos resultados obtidos foi satisfatório e que, em alguns casos, a turbidez encontrada foi maior que a do efluente em estudo, devido à formação de flocos que não sedimentaram.



**Figura 1 – Diagrama de coagulação contendo as curvas de mesma turbidez remanescente (uT) em função da dosagem de coagulante x pH de coagulação para velocidade de sedimentação de 3,0 cm/min.**

Analisando a Figura 2 observa-se que para a velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min os resultados obtidos foram satisfatórios, tendo sido alcançada turbidez abaixo de 5 uT para o sobrenadante.

Por meio da Figura 3 constata-se que para a velocidade de sedimentação de 0,5 cm/min os resultados obtidos foram os mais satisfatórios, e na maioria das situações a turbidez remanescente encontrou-se abaixo de 3 uT. Contudo, a velocidade de sedimentação de 0,5 cm/min conduziria a decantadores de grandes dimensões, não se configurando, portanto, em um valor prático aplicável.

Embora não tenha sido realizada a contagem de algas do efluente da lagoa de polimento empregado nesta pesquisa, observou-se uma coloração esverdeada no mesmo, indicando grande concentração de algas. Assim, provavelmente a flotação por ar dissolvido seria mais adequada que a sedimentação neste caso (dimensões reduzidas em relação ao decantador), além da possível diminuição

na dosagem de coagulante e aumento da concentração de oxigênio dissolvido no efluente a ser disposto.

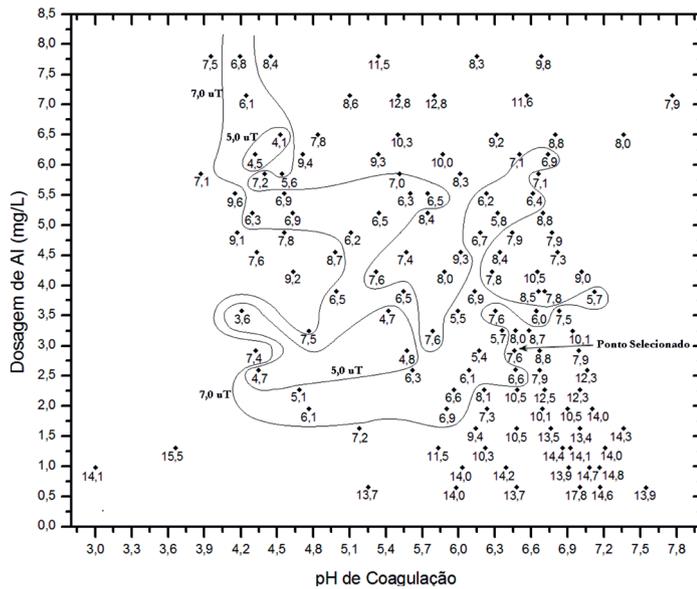


Figura 2 – Diagrama de coagulação contendo as curvas de mesma turbidez remanescente (uT) em função da dosagem de coagulante x pH de coagulação para velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min.

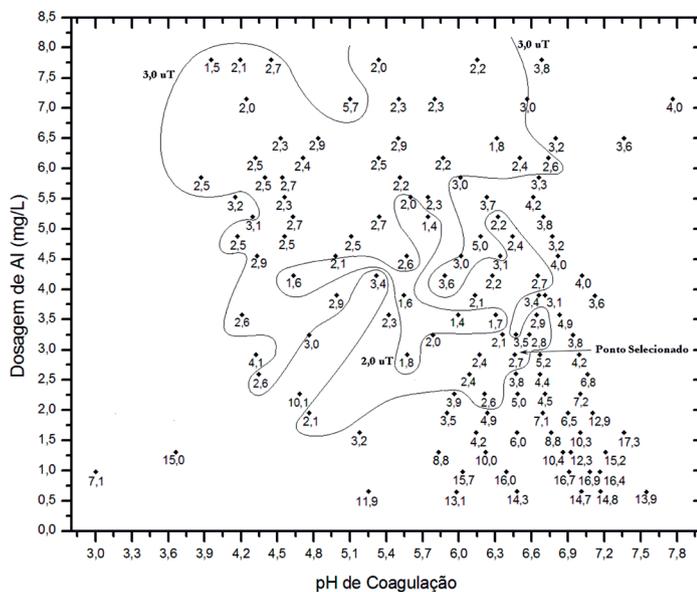


Figura 3 – Diagrama de coagulação contendo as curvas de mesma turbidez remanescente (uT) em função da dosagem de coagulante x pH de coagulação para velocidade de sedimentação de 0,5 cm/min.

Por meio da análise dos três diagramas de coagulação com velocidades de sedimentação diferentes (Figuras 1, 2 e 3), foram selecionados dois pontos com eficiência de remoção de turbidez considerados satisfatórios, sendo um com dosagem de 2,9 mg/L de alumínio (coagulante recuperado) com pH de coagulação de 5,7, sendo que para se atingir este pH foi necessário dosar 15,4 mg/L de ácido clorídrico. O outro ponto selecionado também apresentou dosagem de 2,9 mg/L de alumínio, contudo com pH de coagulação de 6,46 e sem a necessidade de ajuste no valor do pH.

Para estes dois pontos selecionados foram realizados novos ensaios para se analisar a influência da velocidade

de sedimentação, além de ao mesmo tempo se realizar as réplicas para confirmação dos resultados. Na Tabela 2 podem ser verificados os resultados destes novos ensaios.

Tabela 2 – Influência da velocidade de sedimentação.

Ensaio	HCl (mg/L)	Al (mg/L) *	pH Coag.	Velocidade de Sedimentação cm/min					
				7,0	5,0	3,5	2,5	1,5	0,5
				Turbidez remanescente (uT)					
1	14	2,9	5,84	16,31	16,5	15,77	10,08	5,64	2,52
2	14	2,9	5,8	14,78	16,83	14,92	12,46	5,99	2,49
3	0	2,9	6,48	14,98	14,58	13,25	14,00	6,11	3,06
4	0	2,9	6,5	14,96	13,31	13,28	11,05	7,4	2,82

\* Coagulante Recuperado

Analisando-se a Tabela 2 pode ser verificado que os melhores resultados encontrados foram obtidos nos ensaios 1 e 2 (nos quais ajustou-se o pH de coagulação dosando-se ácido clorídrico) na velocidade de 0,5 cm/min; porém a diferença em relação aos ensaios 3 e 4 não é significativa e o pH está em torno de 6,5 (mais próximo da neutralidade) e ainda sem a necessidade do emprego de ácido para ajuste do pH de coagulação. Assim, optou-se por empregar a dosagem de 2,9 mg/L de alumínio sem a adição de ácido para a correção do pH, o que além de facilitar a rotina operacional caso a SANEPAR deseje realizar o tratamento terciário do efluente da ETE Verde, também deixaria o efluente final com pH mais próximo da neutralidade ocasionando menores alterações no ponto de lançamento do corpo receptor.

Ainda analisando-se a Tabela 2 e em se pensando que se trata de efluente a ser descartado, a velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min também apresentou resultados satisfatórios e conduziria a decantadores de dimensões bem menores em relação à velocidade de 0,5 cm/min. Portanto, foi selecionada a velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min para a repetição dos ensaios, para agora se analisar a eficiência de remoção de fósforo, tanto na água decantada como na filtrada.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados das análises realizadas na caracterização do efluente em estudo e após o tratamento físico-químico, tanto na amostra decantada como filtrada, comparado-se estes resultados com alguns padrões nacionais e internacionais de descarte de efluentes.

Tabela 3 – Legislação x Caracterização das amostras após tratamento físico-químico (terciário).

	CONAMA 357/2005	União Europeia Directiva 91/271 CEE	USEPA 2007	SÃO PAULO DC 8468/76	Licença operação ETE Verde	ETE Verde 2008	Efluente em estudo	Decantada	Filtrada
pH	5 a 9	NE	6 a 9	5 a 9	5 a 9	6,85 <sup>3</sup>	7,24	6,55	6,92
Turbidez (uT)	NE <sup>1</sup>	NE	NE	NE	NE	NM <sup>2</sup>	12,95	6,11	1,5
Cor aparente (uH)	NE	NE	NE	NE	NE	NM	NM <sup>2</sup>	34	< 1
N Total (mg/L)	NE	10	NE	NE	NE	NM	18,8	17,4	17,1
N amoniacal (mg/L)	20	NE	19	NE	NE	NM	14,5	13	12,7
Nitrato (mg/L)	NE	NE	0,68	NE	NE	NM	1,07	1,52	1,04
Nitrato (mg/L)	NE	NE		NE	NE	NM	0,02	0,01	0,01
Fósforo Total (mg/L)	NE	1	2	NE	10	4,16 <sup>3</sup>	2,0	0,6	0,28
DQO (mg/L)	NE	125	120	NE	150	97 <sup>3</sup>	60	< 5	< 5
DBO (mg/L)	NE	25	30	60	60	35 <sup>3</sup>	NM	NM	NM

1Não Especificado - 2Não Medido - 3Média dos resultados das análises realizadas ao longo do ano de 2008, sendo realizadas 12 coletas, uma referente a cada mês. O desvio padrão, coeficiente de variação e valores máximo e mínimo são, respectivamente: pH = 0,16; 0,023; 7,0; 6,6; Fósforo Total = 1,31; 0,314; 7,0; 2,35; DQO = 36; 0,372; 151; 54; DBO = 18; 0,529; 72; < 5.

Conforme mencionado por von Sperling (1996) e Além Sobrinho e Samudio (2000), o nutriente limitante e principal responsável pela eutrofização dos corpos d'água é o fósforo.

Observa-se na Tabela 3 que o efluente da ETE Verde que foi empregado nesta pesquisa já contém baixa concentração de fósforo (2,0 mg/L), estando inclusive de acordo (no limite) com alguns padrões internacionais de lançamento, como a USEPA (2007) que limita a concentração a 2,0 mg/L. Já a União Européia (1991) limita a concentração de fósforo a 1,0 mg/L para populações acima de 100 mil habitantes. Além deste fato, as ETEs sofrem variações ao longo do ano tanto nas características do esgoto como em sua operação, podendo a concentração deste nutriente aumentar, conforme pode ser observado na Tabela 3, a qual contém a média anual deste nutriente que foi de 4,16 mg/L, com valor máximo registrado de 7,0 mg/L no ano de 2008. Além disto, quanto menor a concentração deste nutriente, menor o risco de se causar eutrofização no corpo receptor.

Observa-se que no efluente decantado a concentração de fósforo diminuiu significativamente, passando para 0,6 mg/L e, no efluente filtrado, chegando a 0,28 mg/L. Estes valores estão de acordo com o esperado por Tchobanoglous et al. (2003), os quais relatam que com coagulantes metálicos é esperado concentração de fósforo acima de 0,5 mg/L após decantação, e caso se deseje concentrações abaixo de 0,5 mg/L a etapa da filtração deverá ser implementada, além de provavelmente maiores dosagens de sais metálicos.

Com estas baixas concentrações de fósforo conseguidas com o tratamento terciário, estar-se-ia dando um importante passo no sentido da proteção ambiental do corpo receptor, o qual a jusante tem usos múltiplos, sendo inclusive empregado por outros municípios no abastecimento público (como Londrina/PR, por exemplo), além de possuir reservatórios ao longo de seu percurso (como em Telêmaco Borba/PR), contribuindo assim para prevenir o fenômeno de eutrofização.

A bacia hidrográfica na qual Ponta Grossa está inserida é a Bacia do Tibagi, sendo o início da mesma na região do município de Ponta Grossa. Assim, qualquer aumento na eficiência das ETEs deste município terá um reflexo em toda a bacia hidrográfica. Além disto, Ponta Grossa figura entre as maiores cidades em número de habitantes (5º município com 306.351 habitantes segundo o IBGE, 2007) e é o segundo pólo industrial do Estado do Paraná e, como se encontra na cabeceira da Bacia do Tibagi, merece atenção especial por parte dos órgãos de proteção ambiental.

Soma-se a baixa concentração de fósforo conseguida no efluente decantado e filtrado, com a baixa turbidez, cor aparente e DQO, sendo esta última inclusive abaixo do limite de detecção do método (Tabela 3). A concentração de sólidos sedimentáveis no efluente decantado foi menor que 0,1 mg/L (segundo resolução CONAMA 357/05 o padrão de lançamento deste parâmetro é menor que 1 mg/L). Assim, o efluente após passar pelo tratamento terciário (físico-químico) poderia inclusive ser empregado como água de reúso pela SANEPAR, assim como já vem sendo feito pela SABESP (SAMPAIO, 2005). A prefeitura e a própria SANEPAR podem empregar esta água de reúso (após passar por desinfecção) na lavagem de galerias de águas pluviais, lavagem de pátios e praças, rega de jardins, dentre outros. O efluente filtrado pode ser empregado até por algumas indústrias em processos menos nobres, bem

como nos usos já mencionados.

Com isto, além da proteção ambiental do corpo receptor, também poderia se ter uma diminuição no consumo de água potável, deixando esta para fins mais nobres.

É importante ressaltar que o efluente da lagoa de polimento da ETE Verde já atende os padrões de lançamento constantes na resolução CONAMA 357/05 e na licença de operação concedida pela IAP (Instituto Ambiental do Paraná), e que o emprego do coagulante recuperado para tratamento terciário seria uma melhoria no processo, tendo como principal foco a remoção de fósforo (nutriente limitante) e redução do volume e concentração de alumínio no lodo da ETA, em função da recuperação do coagulante e posterior destino adequando do LETA, sendo, portanto a proteção dupla.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com a recuperação do coagulante por via ácida do lodo da ETA Pitangui de Ponta Grossa/PR foi possível obter um coagulante com concentração de 130 mg/L de Al, que quando aplicado em ensaios de tratabilidade do efluente de lagoa de polimento da ETE Verde, em uma dosagem de 2,9 mg/L de Al e pH de coagulação de 6,5 (sem ajustes no valor do pH), obteve-se a redução da turbidez do efluente de 12,95 uT para 6,11 uT (para velocidade de sedimentação de 1,5 cm/min). A menor turbidez remanescente encontrada nos diagramas de coagulação foi de 1,4 uT. Portanto, considera-se que o coagulante recuperado pode ser empregado no pós-tratamento físico-químico de águas residuárias.

A remoção de fósforo, nutriente limitante no processo de eutrofização, foi significativa, com o efluente atendendo padrões internacionais mais restritivos que o brasileiro, possuindo o efluente decantado (após tratamento terciário) concentração de fósforo de 0,6 mg/L, DQO abaixo do limite de detecção do método e concentração de sólidos sedimentáveis menor que 0,1 mg/L.

A SANEPAR de Ponta Grossa tem a intenção de criar uma central de tratamento de lodo na ETE Verde. Portanto, caso aplicada em escala real, a recuperação sendo realizada na planta da ETE Verde tem como vantagem a centralização do tratamento de lodo de ETA e ETE, podendo ser aproveitada a estrutura já existente para desaguamento do lodo proveniente do tratamento anaeróbio do esgoto sanitário (centrífuga), sendo que esta mesma estrutura pode ser utilizada para o desaguamento do lodo proveniente da recuperação e do tratamento terciário, para posteriormente ser dado um destino adequando ao lodo desaguado, quer seja separadamente (artefatos cerâmicos, solo cimento, dentre outros) ou em conjunto com o proveniente do tratamento biológico (agricultura, por exemplo).

Assim, as alternativas propostas no presente trabalho atuam em diferentes frentes, porém com um objetivo comum que é a melhoria da qualidade da água do Rio Tibagi, o qual drena toda a bacia hidrográfica (Bacia do Tibagi) na qual o município de Ponta Grossa está inserido. Portanto, ao mesmo tempo em que se está propondo mais uma alternativa para o tratamento e disposição final do LETA (o qual atualmente é lançado in natura no Rio Verde), também se está propondo a melhoria da qualidade do efluente tratado da ETE Verde o qual vem sendo lançado no meio ambiente.

Caso a SANEPAR pretenda implementar o processo de recuperação e reúso do coagulante presente no LETA, há a necessidade da realização de novos estudos para avaliar a viabilidade econômica do processo.

Também se faz necessária a caracterização do lodo da ETA antes e após o processo de recuperação. Recomenda-se a realização de estudos visando qual seria a destinação adequada dos resíduos sólidos (sólidos sedimentados) do processo de recuperação e do tratamento terciário, se tratamento conjunto ou em separado com o lodo da ETE (tratamento biológico).

Recomenda-se a realização de estudos de tratabilidade comparando-se o tratamento com flotação por ar dissolvido e decantação, para avaliar qual o sistema mais eficiente na remoção de DQO, fósforo, sólidos e algas do efluente da lagoa de polimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) e empresa Nova Ética por ceder o equipamento jarrest.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AISSE, M. M.; ALEM SOBRINHO, P. Avaliação do sistema reator RALF e filtro biológico aerado submerso para tratamento de esgoto sanitário. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coord.) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. v.2. Belo Horizonte, MG, Projeto PROSAB, 2001. 271 p.

ALEM SOBRINHO, P.; SAMUDIO, E.M.M. Estudo sobre a remoção biológica de fósforo de esgoto sanitário através do processo de lodos ativados. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Porto Alegre, RS, Brasil, 2000.

AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. In: Journal AWWA, v.74, n.4, p 200-216, apr., 1982.

CAVALCANTI, P.F.F; VAN HAANDEL, A.; KATO, M.T.; VON SPERLING, M.; LUDUVICE, M.L.; MONTEGGIA, L.O. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por lagoas de polimento. cap. 3. In: CHERNICHARO, C.A.L. (coord.) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. Belo Horizonte, MG, Projeto PROSAB, 2001. 544 p.

CONAMA 357/2005. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/conama>. Consulta em 09 de Agosto de 2005.

CORDEIRO, J.S. Importância do tratamento e disposição adequada dos lodos de ETAs. cap. 1. In: REALI, M.A.P. (coord.) Noções gerais de tratamento e disposição final de lodos de estações de tratamento de água. Rio de Janeiro, RJ: ABES, Projeto PROSAB, 1999. 225 p.

DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE FILHO, P.L. Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos.

RiMA, 2002. 237 p.

EATON, A.D.; CLESCERI, L.S.; RICE, E.W.; GREENBERG, A.E. (ed.). Standard methods for the examination of water and wastewater. 21<sup>a</sup> ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 2005. 1368 p.

FREITAS, J.G; FERREIRA FILHO, S.S.; PIVELI, R.P. Viabilidade técnica e econômica da recuperação de coagulantes a partir de lodos de estações de tratamento de água. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.2 p.137-145, abr-jun, 2005.

GONÇALVES, R. F; BRANDÃO, J. T.; BARRETO, E. M. S. Viabilidade econômica da recuperação do sulfato de alumínio de lodos de estações de tratamento de água. In: 20 Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais... Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 1999.

IBGE. Contagem da População 2007. População residente em 1º de abril de 2007, segundo os municípios do Estado do Paraná. Disponível em [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem\\_final/tabela1\\_1\\_21.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem2007/contagem_final/tabela1_1_21.pdf) Consulta em 04 de Abril de 2009.

RICHTER, C.A. Tratamento de Lodos de Estações de Tratamento de Água. São Paulo: Editora Edgard Blücher LTDA, 2001. 102 p.

SAMPAIO, A.O. Reúso de água. Experiência da Sabesp na Venda de Água de Reúso. 2005. Disponível em <[http://www.cnrh-srh.gov.br/download/CTCT/APRES\\_I\\_REUSO/Americo.pdf](http://www.cnrh-srh.gov.br/download/CTCT/APRES_I_REUSO/Americo.pdf)> Consulta em 31 de maio de 2009.

SÃO PAULO. Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976. Aprova o Regulamento da Lei nº 997, de 31 de maio de 1976, que dispõe sobre a Prevenção e o Controle da Poluição do Meio Ambiente, 1976

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.L.; STENSEL, H.D. (rev.) Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. METCALF & EDDY, Inc. McGraw-Hill, 2003. 1819 p.

UNIÃO EUROPÉIA, Directiva 91/271 CEE Consejo, de 21 de mayo de 1991, sobre El tratamiento de las aguas residuales urbanas. Disponível em < [http://www.belt.es/LEGISLACION2/VIGENTE2/Medio\\_ambiente/pdf/comunitaria/dir\\_91\\_271\\_cee.pdf](http://www.belt.es/LEGISLACION2/VIGENTE2/Medio_ambiente/pdf/comunitaria/dir_91_271_cee.pdf)> Consulta em 02 de abril de 2009.

USEPA. (2007) Stormwater: Discharge Parameter Benchmark Values Reference. In: Chapter 26, Stormwater Chapter Outline. Disponível em < <http://www-group.slac.stanford.edu/esh/eshmanual/pdfs/ESHch26.pdf>> Consulta em 28 março de 2009.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. v.1. 2<sup>a</sup> ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.