



**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

EFEITO DA ADIÇÃO DE CLORETO FÉRRICO AO ESGOTO AFLUENTE A UM REATOR UASB

1. Ruy Scanho Marques de Queiroz⁽¹⁾:

Engenheiro Mecânico graduado em 1987 pela Escola de Engenharia Mauá.

Especialização em Engenharia de Saneamento Básico pela Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP) em 1994.

Mestrando em Engenharia Hidráulica e Sanitária na Escola Politécnica da USP.

2. Sidney Seckler Ferreira Filho

Engenheiro Civil pela Escola Politécnica da USP

Mestre em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP

Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP

Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP

3. Roque Passos Piveli

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP

Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da USP

Doutor em Engenharia Hidráulica e Sanitária pela Escola Politécnica da USP

Professor do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da USP

⁽¹⁾**Endereço:** Rua Pedro Pomponazzi, 531 – ap. 24 – Jardim Vila Mariana – CEP: 04115-000 – São Paulo – Brasil; Telefones: 55-11-5904-3427 (res.) / 55-11-9686-5950 (cel.); E-mail: ruysca@uol.com.br

RESUMO:

O lançamento de efluentes, ainda que tratados, contendo compostos com nitrogênio e fósforo tem causado problemas para os mananciais de onde se retira água para abastecimento público. Com a característica de servirem como nutrientes para as algas, cuja floração produz conseqüências como geração de toxinas, aumento de gastos com tratamento (com aplicação de carvão ativado, pré-cloração, etc.), entre outros, sua remoção passou a ser tão importante quanto a redução da carga orgânica carbonácea. Por um outro lado, os reatores anaeróbios de fluxo ascendente (conhecidos como UASB's – *upflow anaerobic sludge blanket* – ou RAFA's), representam uma forma de tratamento bastante compacta, de simples operação e monitoramento e, como conseqüência, com custos de implantação e operação bastante competitivos diante de outros processos que hoje temos conhecimento. O estudo proposto visa avaliar a capacidade de remoção de fósforo e de matéria orgânica na operação dos reatores tipo UASB com a injeção de coagulantes (neste caso, cloreto férrico) na entrada do esgoto bruto na unidade, atravessando juntamente com o mesmo através do manto de lodo. O objetivo do estudo é a análise da capacidade de remoção de DQO e fósforo de um sistema de reatores UASB real localizado em área de mananciais e sem possibilidades para ser ampliado. Por se tratar de um processo simples e compacto e com produção de lodo relativamente baixa se comparada a outros processos aeróbios, caso se verifique o aumento na capacidade de tratamento nos UASB's com a simples adição de coagulantes, essa alternativa poderá se apresentar como opção para diversos sistemas com condições semelhantes.

**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

PALAVRAS CHAVE: Anaeróbico / Coagulante / UASB / Fósforo / Cloreto Férrico (FeCl_3)

INTRODUÇÃO:

A ETE de Ribeirão Pires da SABESP é constituída de tratamento preliminar (grade fina de limpeza mecanizada e caixa de areia aerada) seguido de quatro reatores UASB dispostos em paralelo. O lodo descartado dos reatores UASB é desidratado em leitos de secagem. A vazão média é de 40 L/s e a descarga dos efluentes tratados é feita em canal afluente ao Rio Grande, braço da Represa Billings.

De acordo com suas características físico-químicas, os efluentes variam de médio a fraco, em virtude de significativa infiltração na rede coletora.

Os resultados do controle operacional do sistema demonstram boas condições de funcionamento, sendo que as eficiências na remoção de DQO e DBO são iguais ou superiores aos valores que poderiam ser esperados para reatores UASB operando com tempo de retenção hidráulica da ordem de 11 (onze) horas, em relação à vazão média de efluentes.

No entanto, é indiscutível a necessidade de tratamento complementar, uma vez que a aplicação de reatores UASB isoladamente não atende, de uma maneira geral, as exigências para lançamentos em corpos d'água, principalmente em termos de DBO, nitrogênio amoniacal, fósforo total e coliformes fecais. No caso em questão em que os efluentes tratados são lançados em importante manancial da Região Metropolitana de São Paulo, aumentos na remoção de nutrientes são bastante desejáveis.

Tendo em vista, por outro lado, que o plano diretor de efluentes da SABESP poderá levar à desativação desta ETE, não se torna atrativa a proposição de reformas estruturais que envolvam a implantação de novas unidades de tratamento e equipamentos.



Figura 1 – Vista Geral da ETE Ribeirão Pires



ASOCIACIÓN INTERAMERICANA DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS

Pelos motivos expostos, este projeto de pesquisa foi concebido com o objetivo de se promover uma melhoria no desempenho do sistema, sobretudo na remoção de fósforo e de matéria orgânica dos esgotos, por meio de adição química. Este processo representará uma medida emergencial para garantir a redução no aporte de nutrientes que tendem a conduzir à eutrofização do manancial, com custo de implantação praticamente desprezível.

Os trabalhos similares publicados referem-se apenas à aplicação de coagulantes químicos nos efluentes de reatores anaeróbios, configurando situações de pós-tratamento, exigindo estruturas complementares para a separação de sólidos, como a sedimentação ou a flotação. Penetra et. al. (1999) concluíram que com a dosagem de 65 mg/L de FeCl_3 é possível remover DQO e Fósforo do efluente de reator UASB com eficiência superior a 95%.

Desta forma, em função dos resultados finais obtidos neste estudo, pode-se entender que esta aplicação também pode ser interessante, caso não se verifiquem prejuízos ao processo biológico ou outros problemas operacionais relevantes e que a dosagem ótima de coagulante seja da mesma ordem de grandeza daquelas utilizadas no pós-tratamento.

OBJETIVOS

O estudo proposto teve por objetivo avaliar as melhorias nas condições operacionais de um reator UASB que podem ser promovidas pela adição de cloreto férrico ao esgoto afluente. O objetivo principal é a avaliação das eficiências dos processos na remoção de DQO e Fósforo do esgoto.

Outros aspectos investigados foram os efeitos sobre o pH, as alterações nas características físicas dos grânulos que constituem o manto e na quantidade de lodo produzido pelo sistema e a elevação de cor do efluente final.

METODOLOGIA

Diante do exposto no item anterior, está sendo estudado o comportamento de uma unidade de UASB existente, pertencente à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP, localizada no Município de Ribeirão Pires, às margens da Represa Billings, na Região Metropolitana de São Paulo. O período de estudo é de 18 meses, transcorridos ao longo dos anos de 2005 e 2006.

O estudo compara os desempenhos de dois dos quatro reatores existentes, sendo adicionado cloreto férrico (FeCl_3) como coagulante em um deles e outro operado nas condições anteriores, sem adição de coagulante. Os reatores estudados trabalham com a mesma vazão e as mesmas características do esgoto bruto afluente.

Por se tratar de uma entrada única de esgoto bruto, com divisão de vazões através de vertedores, a aplicação de cloreto férrico é feita na parcela (já dividida para cada reator) relativa ao reator analisado.

O controle do processo baseia-se em análises do esgoto afluente à estação de tratamento de esgotos e nos efluentes tratados dos reatores com e sem aplicação de cloreto férrico. As análises executadas são as seguintes, com as respectivas frequências:

- | | |
|---|---------------------|
| - DQO (Demanda Química de Oxigênio): | 2 vezes por semana; |
| - Fósforo Total e Orto-fosfatos: | 2 vezes por semana; |
| - Série de Sólidos: | 2 vezes por semana; |
| - DBO (demanda bioquímica de oxigênio): | 1 vez por semana; |
| - pH e Temperatura: | 2 vezes por semana; |
| - Alcalinidade: | 2 vezes por semana. |



**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

O controle do lodo é realizado por meio de análises da série de sólidos em três níveis do manto de lodo com uma frequência mensal, além do controle dos volumes descartados.

A ETE dispõe também de sistema de registro contínuo de vazão de esgoto afluente.

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Foram feitos reparos nos reatores UASB, instalado o sistema de dosagem de cloreto férrico e de coleta de amostras de lodo ao longo da profundidade. Foi concluída as etapas com as dosagens de 25 mg/L e 50 mg/L.

METODOLOGIA ANALÍTICA

Metodologia das Análises dos Efluentes nos Diversos Estágios de Tratamento.

Todas as análises físico-químicas e biológicas dos efluentes nas diversas etapas de tratamento serão desenvolvidas de acordo com os preceitos da 20ª Edição do "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" (AWWA – 1998)".

| Parâmetro | Método |
|--|--|
| Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO _{5,20}) | Técnica das diluições e incubação a 20°C. Concentrações de oxigênio dissolvido medidas pelo método eletrométrico (oxímetro marca YSI). |
| Demanda Química de Oxigênio (DQO) | Oxidação com dicromato de potássio (catalisada) em refluxo aberto e titulação com sulfato ferroso amoniacal. |
| Fósforo Total e Ortofosfatos | Digestão química e colorimetria em espectrofotômetro UV – Visível marca Shimadzu (método do ácido ascórbico). |
| Sólidos Totais, Suspensos, Dissolvidos, Fixos e Voláteis | Filtração, secagem (estufa), calcinação (forno mufla) e gravimetria. |
| pH | Método eletrométrico (pH-metro marca Orion) |
| Alcalinidade | Titulação Potenciométrica |
| Turbidez | Nefelometria com Turbidímetro marca Hach. |
| Cor Aparente | Aparelho comparador de cor marca Policontrol. |
| Temperatura | Termômetro de Mercúrio |
| Sulfeto | Método Iodométrico. |

Tabela 1 – Metodologias Analíticas



**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

RESULTADOS OBTIDOS

Após o período observado, pode-se constatar a redução da carga orgânica e da concentração de fósforo, tanto na situação com a adição de 25 mg/L FeCl_3 como de 25 mg/L FeCl_3 .

Na Tabela 2, apresentam-se os resultados obtidos no período de setembro de 2005 a janeiro de 2006, em que foi mantida a adição de coagulante (25 mg/L FeCl_3 /L) em um dos reatores UASB, mantendo-se um segundo reator como controle, tratando a mesma vazão de esgoto e perfazendo um tempo de retenção hidráulica estimado em 11 horas e sem receber adição química.

Na Tabela 3 temos os resultados do período entre fevereiro e julho de 2006, quando tivemos a dosagem de 50 mg/L de FeCl_3 .

Da fase experimental foram obtidos os resultados abaixo, expressos, de forma reduzida, nas Tabelas 2 e 3.

| Ponto de Amostragem | DQO (mg/L) | | DBO _{5,20} (mg/L) | Fósforo (mg P/L) | |
|--|-------------|-------------|----------------------------|------------------|--------------|
| | Total | Filtrada | Total | Total | Orto-Fosfato |
| Esgoto Bruto | 282 ± 66 | 106 ± 15 | 151 ± 58 | 4,1 ± 2,1 | 2,1 ± 0,6 |
| Efluente do UASB com adição de FeCl_3 | 86 ± 14 | 42 ± 13 | 26 ± 5 | 2,5 ± 1,1 | 1,6 ± 0,7 |
| Efluente do UASB sem adição de FeCl_3 | 115 ± 24 | 57 ± 27 | 41 ± 14 | 2,6 ± 1,1 | 2,0 ± 0,7 |

Tabela 2 – Resumo dos Dados Obtidos com a Dosagem 25 mg FeCl_3 /L

| Ponto de Amostragem | DQO (mg/L) | | DBO _{5,20} (mg/L) | Fósforo (mg P/L) | |
|--|--------------|-------------|----------------------------|------------------|--------------|
| | Total | Filtrada | Total | Total | Orto-Fosfato |
| Esgoto Bruto | 350 ± 126 | 123 ± 38 | 162 ± 51 | 4,5 ± 2,0 | 1,8 ± 0,7 |
| Efluente do UASB com adição de FeCl_3 | 58 ± 45 | 46 ± 12 | 29 ± 11 | 2,9 ± 1,3 | 0,7 ± 0,5 |
| Efluente do UASB sem adição de FeCl_3 | 95 ± 37 | 72 ± 25 | 61 ± 20 | 3,3 ± 1,3 | 1,8 ± 0,7 |

Tabela 3 – Resumo dos Dados Obtidos com a Dosagem 50 mg FeCl_3 /L

ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS

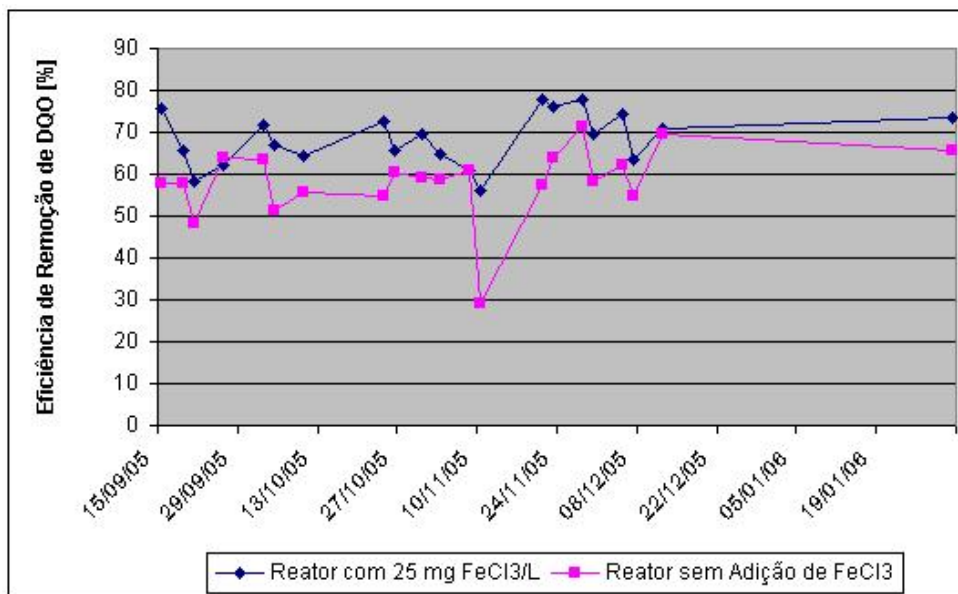


Figura 2 – Eficiência de Remoção de Matéria Orgânica (DQO): Dosagem de 25 mg FeCl₃/L

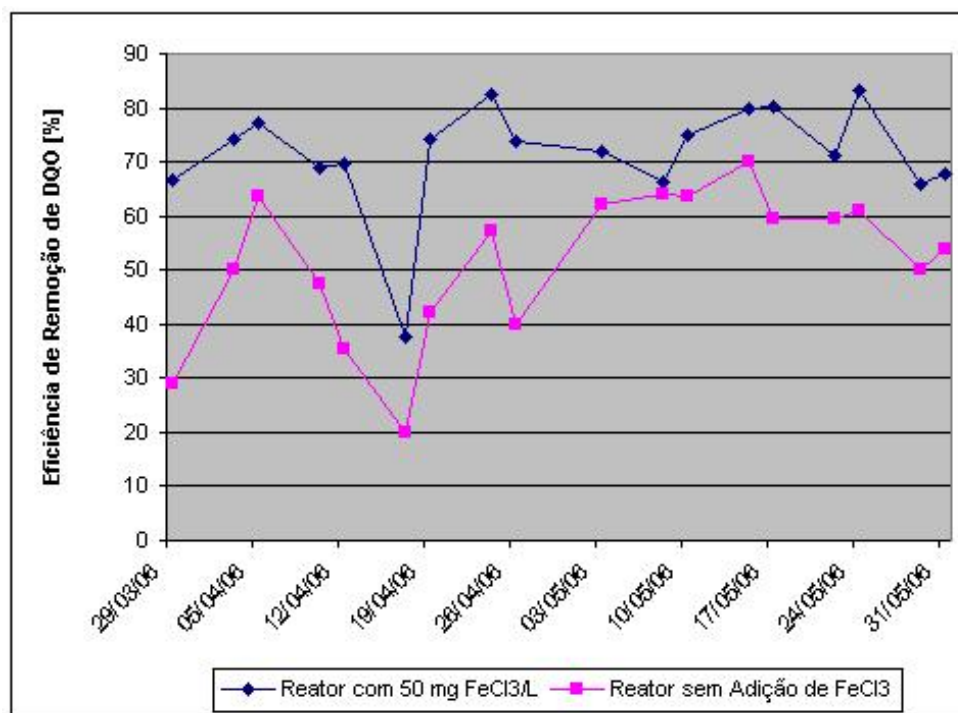


Figura 3 – Eficiência de Remoção de Matéria Orgânica (DQO): Dosagem de 50 mg FeCl₃/L

**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

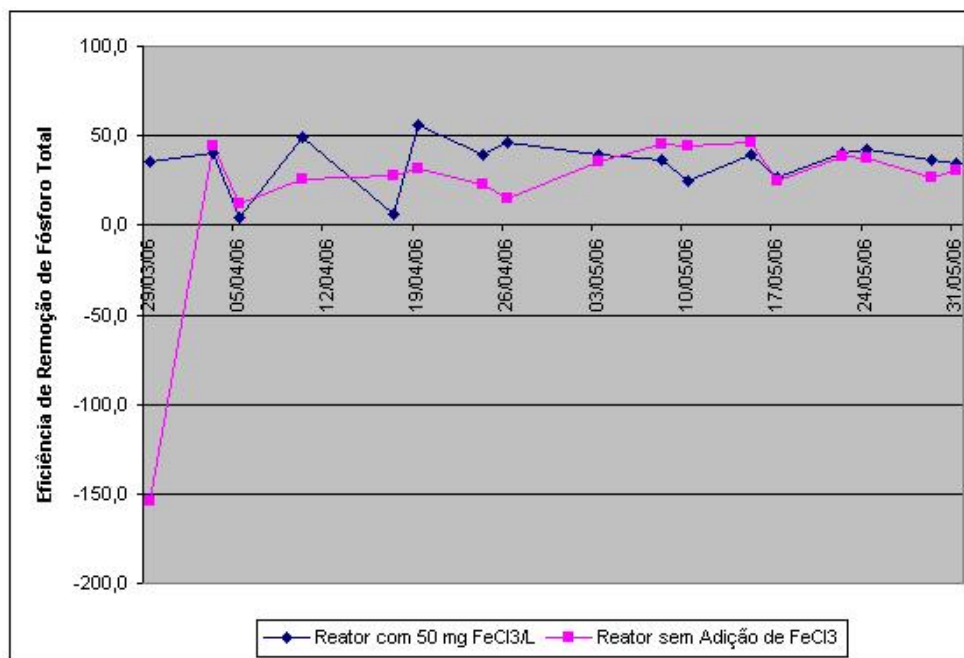


Figura 4 – Eficiência de Remoção de Fósforo Total: Dosagem de 50 mg FeCl₃/L

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Da avaliação até o presente momento, podemos concluir que a adição de cloreto férrico à entrada de um reator UASB gera aumento significativo de eficiência de remoção de carga orgânica. Este fato pode, independente da remoção de fósforo, justificar o uso desse sistema em aplicações reais, desde que sua viabilidade técnico-econômica seja verificada. No que se refere aos compostos de fósforo, o que se percebe é uma alta remoção de orto-fosfatos mas uma quase imperceptível remoção de fósforo total.

Com relação ao lodo gerado, o que se percebeu foi uma melhora na capacidade de desaguamento (o ciclo de secagem do lodo com adição de cloreto era de 2 semanas enquanto que o lodo sem adição consome cerca de 3 a 4 semanas) e a obtenção de torta (do lodo com adição) com aproximadamente 60% do volume do lodo sem cloreto.

Na caracterização do perfil do manto de lodo, o que se observou foram as seguintes diferenças:

- reator com aplicação de cloreto férrico: o manto de lodo é mais espesso (atinge uma altura maior dentro do reator) e com menor concentração de sólidos;
- reator sem aplicação de produto: temos o manto com menor altura e com maiores concentrações.

Dessa constatação, uma conseqüência negativa da adição de coagulante pode ser a tendência a maior perda de sólidos junto com o efluente clarificado, por termos o lodo depositado numa altura próxima ao separador trifásico e suas partículas de certa forma mais leves e mais propícias a serem arrastadas com o esgoto tratado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. METCALF & EDDY, INC. **Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse**. 3rd ed., McGraw-Hill, 1991;



26 al 30 de noviembre de 2006, Punta del Este - Uruguay



**ASOCIACIÓN INTERAMERICANA
DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL - AIDIS**

2. Gonçalves, Ricardo Franci et al. - **TRATAMENTO TERCIÁRIO DO EFLUENTE DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO DO TIPO UASB + BIOFILTROS AERADOS SUBMERSOS ATRAVÉS DE PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO**, Universidade Federal do Espírito Santo, 2004);
3. ALEM SOBRINHO, P.; JORDÃO, E. P. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios – uma análise crítica**. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. PROSAB – PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO 2, p. 490-513,2001;
4. PIVELI R. P. & MORITA D. M., Notas de Aula das disciplinas “ **Caracterização da Qualidade de água.**” e “**Técnicas Analíticas para Caracterização de águas e Monitoramento de ETA e ETE**” – Escola Politécnica - Universidade de São Paulo, 2002;
5. SINELLI, P. H. **Remoção de fósforo de efluente de tratamento anaeróbio por processo físico-químico**. São Paulo, 2002. Dissertação de mestrado – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 128p;
6. Jordão et al. - **TRATAMENTO PRIMÁRIO QUIMICAMENTE ASSISTIDO (CEPT) E DECANTAÇÃO PRIMÁRIA CONVENCIONAL: QUANDO APLICAR?**, 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental;
7. Santos, Hélio Rodrigues dos - **APLICAÇÃO DE COAGULANTES NO AFLUENTE DE REATOR ANAERÓBIO DE LEITO EXPANDIDO ALIMENTADO COM ESGOTO SANITÁRIO**, Dissertação de Mestrado, EESC/USP, 2001;
8. SEDLAK, R. - **PHOSPHORUS AND NITROGEN REMOVAL FROM MUNICIPAL WASTEWATER - PRINCIPLES AND PRACTICE**, 2ND ED., 1991 – THE SOAP AND DETERGENT ASSOCIATION.