

## 25º. Encontro Técnico AESABESP

# CONTROLE DA CORROSÃO E ODORES EM SISTEMAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO COM APLICAÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS

### Sena, Helvécio Carvalho<sup>(1)</sup>

Químico, com Mestrado e Doutorado pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Responsável pela melhoria do sistema de controle de odores na Região Metropolitana da Baixada Santista – SP com a implantação da Gestão do Processo na região inserindo o monitoramento contínuo e automático e aplicação das dosagens corretas, resultando na redução de custos e eliminação de reclamações.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Costa Carvalho, 300 - Pinheiros – São Paulo - SP - CEP: 05429-900 - Brasil - Tel: +55 (11) 3388-8138 - e-mail: [helcsena@ig.com.br](mailto:helcsena@ig.com.br)

### Resumo

Um fenômeno que ocorre naturalmente no sistema de esgotamento sanitário é a formação de sulfeto de hidrogênio devido à redução de compostos sulfurosos como o íon sulfato para sulfeto de hidrogênio.

É fundamental que haja o controle da formação de sulfeto de hidrogênio, pois está relacionado a reclamações por parte dos clientes que vivem ao redor de poços de visita (PV), elevatórias de esgotos (EEE) ou mesmo estações de tratamento de esgotos (ETE).

Está se tornando cada vez mais frequente sanções por parte dos órgãos de fiscalização ou de defesa dos direitos dos cidadãos.

A aplicação de produtos químicos, além evitar reclamações devido ao odor, é um meio preventivo de salvar as estruturas de concreto da corrosão acelerada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de Odores, Corrosão, Produtos Químicos.

### Introdução

O sulfeto de hidrogênio é produzido em condições anaeróbicas através da ação das bactérias sulfo-redutoras (BSR), como por exemplo, a *Desulfovibrio*, nos coletores de esgotos (JIANG, et. al., 2013; JENSEN, et.al., 2009; FIER, et. al., 2008) e compostos sulfurosos como cisteína, gás sulfídrico, mercaptanas e sulfato que são elementos normalmente encontrados nos esgotos domésticos, favorecem o crescimento dessas bactérias e consequentemente a formação do sulfeto de hidrogênio (SÁNCHEZ, et.al., 2013; SENA, 2001).

O sulfeto de hidrogênio é uma das principais fontes de mau odor na região em torno dos poços de visita (PV) e nas estações elevatórias de esgotos (EEE), sendo relacionado às reclamações, corrosão e também problemas de saúde da população (JIANG, et. al., 2013).

Outros compostos também podem gerar odores, incluindo compostos orgânicos voláteis sulfurosos, compostos orgânicos nitrogenados, ácidos graxos voláteis, fenóis, aldeídos e cetonas (Dagúe, 1972; Thislethwayte e Goleb, 1972 apud Rudelle et.al., 2013).

Na Estação de Tratamento de Esgotos Cubelles-Cunit (Barcelona, Espanha) houve a conversão do sistema de abatimento de gases através da aplicação de produtos químicos para um biofiltro e foi demonstrado por Xavier et.al. (2013) que após a estabilização, o novo sistema foi capaz de remover 99% da carga de sulfeto afluente ao sistema.

Mesmo com esta altíssima remoção de sulfeto, o monitoramento do odor através de um olfátometro dinâmico demonstrou que o odor teve uma redução de 90% sendo que o residual que ficou entre 2.400 a 4.100 OU m<sup>-3</sup> foi atribuído aos compostos orgânicos voláteis (COV).

Segundo Debrieu (2004) apud Beghi, et.al. (2012), 80% a 90% dos odores emitidos por uma ETE são causados por compostos sulfurosos tais como sulfeto de hidrogênio, metilmercaptanas, etilmercaptanas, dimetil sulfeto e dimetil dissulfeto.

A questão do odor é uma preocupação dos administradores de sistemas de tratamento de esgotos públicos e privados, pois desejam evitar reclamações por parte da população (Cowden, 2012) e também prevenir a corrosão acelerada das estruturas de concreto.

É fundamental que haja conscientização de que a dispersão de maus odores pode ser caracterizada como um impacto negativo do tratamento de esgotos sanitários, incluindo neste contexto todo o sistema de esgotamento (rede, poços de visita, elevatórias e as estações de tratamento), DE Souza (1998) apud Giuliano (2002) demonstra que 47% da percepção de impactos decorrentes da operação da Estação de Tratamento de Esgotos Parque Dona Esther, em Cosmópolis/SP pela população vizinha à unidade de tratamento estava relacionada com o “mau cheiro”.

Giuliano (2002) cita que na cidade de Campo Grande/MS, a população do bairro Jardim Carioca moveu ação através da Defensoria Pública do Estado contra o frigorífico da Swiff Armour devido ao mau cheiro desprendido do sistema de tratamento de efluente do frigorífico.

A pesquisa realizada na cidade de Piracicaba/SP por Giuliano (2002) para verificar se a proliferação de odores ofensivos decorrentes da operação da ETE Piracicamirim repercutia para a população vizinha até um raio de 1 km, comprovou-se válida:

- 94% das entrevistas identificaram o impacto da unidade de tratamento devido ao odor,
- 51% da população entrevistada alegaram a necessidade de fechamento de portas e janelas;
- 41% da população entrevistada informaram que restringiam o uso da área externa às residências, devido ao odor;
- 23% da população entrevistada informaram mal estar devido às condições do entorno;
- 15% da população entrevistada informaram que apresentavam alguma doença respiratória.

Em Brasília também foi realizado trabalho de pesquisa para avaliar os impactos sentidos pela população vizinha à ETE Paranoá (Silva, 2007) e constatou-se que 78% dentre as pessoas entrevistadas sentem mau cheiro e 60% destes disseram que a intensidade do odor é muito forte.

O caso da ETE Paranoá foi alvo de diversas reclamações e ação por parte do Ministério Público.

Na cidade de Castelo, estado do Espírito Santo, o ministério público estadual impetrou ação civil pública contra a companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN (MPES, 2009) devido ao forte odor exalado pela unidade de tratamento, arguiu-se o MP “*Dentre as várias irregularidades da ETE – Araçuí (v.g., o descumprimento de condicionantes impostas quando da concessão de licenças pelo Instituto Estadual de Meio Ambiente [IEMA]), sem qualquer sombra de dúvidas, destaca-se o forte mau cheiro que assola diariamente a área em questão, perturbando de forma insuportável os moradores da sede de Araçuí?*”

A ação contra a CESAN tem como base o mal-estar que a unidade de tratamento está causando à comunidade vizinha, inclusive tendo a saúde ameaçada. Na ação foi solicitado prazo máximo de 15 dias para implantação de ações que visam eliminar o mau odor causado pela ETE Araçuí e ainda na impossibilidade de eliminar o odor que a ETE seja transferida para outro local.

O não cumprimento da solicitação no prazo determinado pede ainda o MP, multa diária de R\$ 5.000,00 e uma indenização de R\$ 100.000,00.

A situação de reclamações é fruto da maior conscientização da população atrelado ao atendimento de saneamento básico no Brasil, assim reclamações podem ocorrer em uma cidade turística como Santos, que possui cerca de 400 mil habitantes (SENA & SHIKISHIMA, 2011), ou mesmo em cidades do interior do Estado de São Paulo como Divinolândia, com apenas 12 mil habitantes (SENA & CARIOCA, 2013).

A insatisfação da população gera reclamações e sanções por parte dos organismos de fiscalização como já demonstrado acima, citamos ainda o ocorrido na unidade de tratamento Eugene-Springfield Regional Water Pollution Control Facility no Estado de Oregon/EUA (WOLSTENHOLME, 2013), que teve de implantar um programa que identificou e eliminou as fontes de odor para manter um bom relacionamento com os vizinhos.

Alves, et.al. (2004) relata que no Estado do Paraná houve reclamações por parte da população residente em torno de uma unidade de tratamento devido ao odor gerado pelos reatores anaeróbios, forçando a empresa Sanepar a implantar um sistema de controle de odores.

Relatos de reclamações também foram citados por Beghi, et.al. (2012) na cidade de Domingos Martins, Estado do Espírito Santo, que resultaram em investimentos no sistema de tratamento, principalmente nos tanques de aeração.

A geração de sulfeto de hidrogênio ocorre dentro do biofilme que é formado nas paredes da tubulação de esgotos que fica submersa (Figura 1).

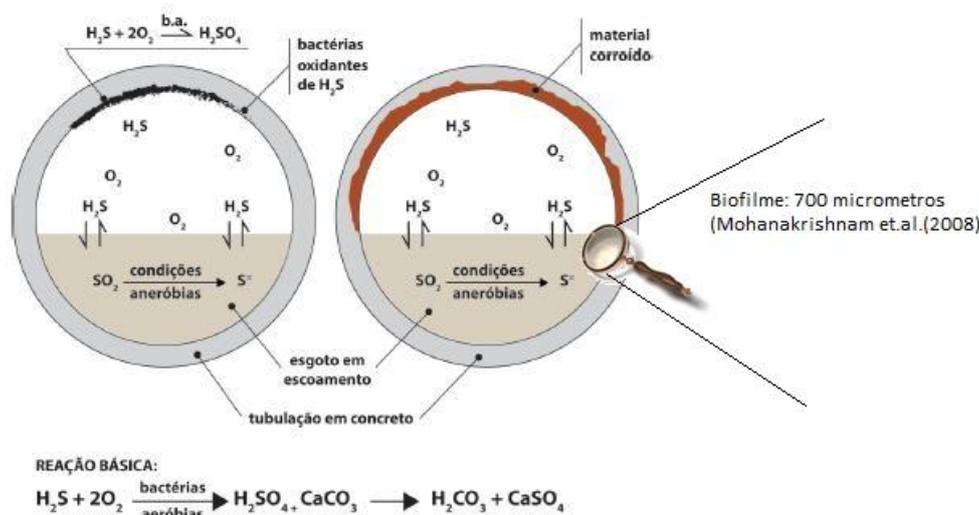


Figura 1 - Reações Anaeróbias dentro do Coletor de Esgotos - Formação de Biofilme

O Biofilme apresenta espessura variável em condições reais, mas MOHANAKRISHNAM et.al. (2008) em pesquisa de laboratório mediram em aproximadamente 700 µm a espessura do biofilme formado dentro dos reatores testes. Takahashi (1983) cita que um biofilme tem espessura típica de 1.000 µm podendo chegar a 3.000 µm. A formação do biofilme dependerá de alguns fatores, entre eles a velocidade de escoamento (Takahashi, 1983).

A pesquisa desenvolvida por MOHANAKRISHNAM et.al. (2008) demonstrou que a concentração de sulfeto de hidrogênio dentro do biofilme duplica em comparação com a concentração no meio líquido, passando de aproximadamente 0,5 mg/L no meio líquido para 1 mg/L dentro do biofilme.

O experimento ainda demonstrou que a concentração de sulfeto dentro do biofilme manteve-se homogêneo seja a 100 µm ou à 700 µm.

No Brasil não há estudos detalhados sobre os gastos com a reabilitação das estruturas de concreto afetadas pela presença de sulfeto de hidrogênio e pela formação de ácido sulfúrico biogênico. Joseph et.al. (2012) relata que a cidade de Los Angeles nos Estados Unidos gasta cerca de 400 milhões de euros por ano na recuperação dos coletores de esgotos de concreto. Na Alemanha estima-se um gasto de 100 milhões de euros por ano.

A corrosão das estruturas de concreto é realizada através da presença da bactéria *Acidithiobacillus thiooxidans* (OKABE et.al., 2007 apud JENSEN, et.al., 2009), o sulfeto de hidrogênio é absorvido na superfície molhada do concreto e é oxidado à ácido sulfúrico iniciando a reação com os compostos alcalinos do concreto (JENSEN, et.al., 2009) e assim o gesso é formado e as propriedades intrínsecas do concreto são perdidas, causando colapso na estrutura.

Em pontos dos coletores onde ocorrerem alta turbulência, a ventilação é insuficiente para ocorrer à re-aeração do esgoto ou mesmo fazer a diluição do sulfeto de hidrogênio que é liberado da massa líquida, tem alta umidade e parte da tubulação nunca entra em contato com o esgoto são os locais em que a corrosão ocorre em maior velocidade, mesmo com concentração de sulfeto de hidrogênio tão baixa quanto 0,2 à 0,6 mg/L (BOON, 1995).

Demonstram-se através da figura 2 as possíveis reações que ocorrerem no concreto.

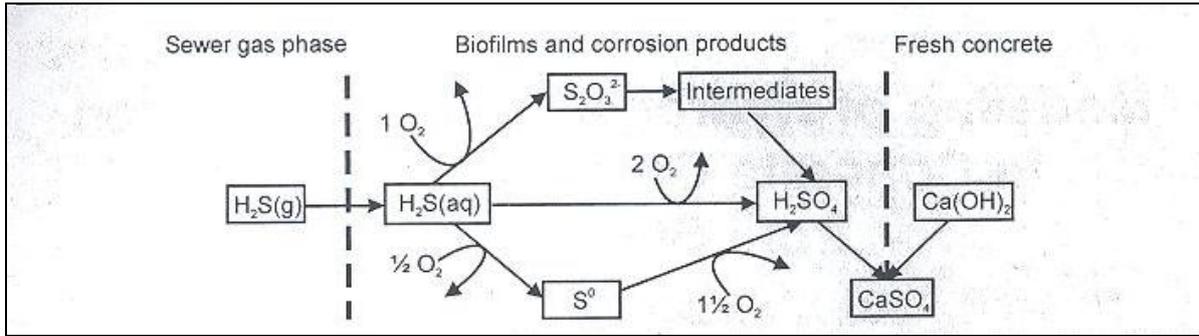


Figura 2 - Possíveis reações durante a corrosão do concreto devido a presença de sulfeto de hidrogênio –  
 Fonte: Islander et al., 1991; Parker, 1945a apud Jensen et al., 2009

A Figura 3 mostra o rompimento de uma tubulação de concreto utilizada para a transferência de lodo bruto localizada na Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri. A corrosão acelerada pode ser atribuída à presença de altas concentrações de sulfeto de hidrogênio.

A Figura 4 mostra outro exemplo da corrosão acelerada do sistema em uma estação elevatória de esgotos localizada no município de Cubatão/SP (Brasil).



Figura 3 - Corrosão do coletor lodo de esgotos na ETE Barueri - colapso. Fonte: Sena, s.publ.



Figura 4 - Corrosão em uma EEE instalado na cidade de Cubatão/SP - Ferragens expostas, situação em 2013  
 – Fonte: Sena, s.publ.

O controle da formação de sulfeto de hidrogênio ou a sua eliminação pode ser feita pela aplicação de várias estratégias (BOON,1995; FIRER,D.,et.al.,2008; JIANG, et.al.2013; MOHANAKRISHNAN, et.al. 2008; SENA, et.al. 2011; TAKAHASHI, 1983):

- 1) Oxidação do sulfeto formado através da injeção de ar atmosférico; oxigênio puro; nitrato; peróxido de hidrogênio ou ozônio;
- 2) Remoção do sulfeto através da precipitação com a aplicação de sais de ferro;
- 3) Redução da transferência do sulfeto de hidrogênio da massa líquida para a atmosfera através da elevação do pH do meio;
- 4) Prevenção da formação de sulfeto de hidrogênio inibindo a atividade das bactérias sulfo-redutoras;
- 5) Desenvolvimento de projeto de coletores de esgotos com tensão trativa mínima de 0,15 kgf/m<sup>2</sup>.
- 6) Limpeza dos coletores de esgotos para prevenir o acúmulo de lodo e aumento do tempo de retenção hidráulico.

A formação de sulfeto nos coletores de esgotos dependerá de alguns fatores como temperatura, concentração de oxigênio dissolvido no esgoto, concentração da matéria orgânica presente (DQO ou DBO<sub>5,20</sub>) e também da concentração de sulfato (THISTLETHWAYTE, 1972 apud BOON, 1995; TAKAHASHI, 1983).

A taxa de formação de sulfeto a 20°C e sem limitação de substrato e na presença de sulfato apresentou nas pesquisas desenvolvida por MOHANAKRISHNAN, J., et.al.2008 em 4,6 ± 0,1 mgS/L.h.

## Objetivo

Demonstrar a experiência da Sabesp na aplicação de produtos químicos para o controle da formação de sulfeto de hidrogênio no sistema de esgotamento sanitário e a determinação de dosagens ótimas de peróxido de hidrogênio, nitrato de amônia e nitrato de cálcio.

Foi considerado como resultado final de controle da concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido o valor de 0,5 mgS/L, visto que a experiência demonstrou que estando o sulfeto dissolvido igual ou abaixo desta concentração, não há percepção de odor pela população, provavelmente devido ao efeito de diluição do sulfeto na atmosfera.

Não foi mensurada a concentração de sulfeto de hidrogênio na atmosfera, mas interpolando os dados apresentados por JIANG, et.al.(2013) nesta concentração no meio líquido provavelmente haverá uma concentração em torno de 15 ppmv no AR de sulfeto de hidrogênio. Esta concentração no AR é apenas orientativa, visto que a dispersão de sulfeto no ar depende de variáveis como turbulência e temperatura, que não foram comparadas.

## Materiais e Métodos

A pesquisa foi realizada em escala real, aplicando-se os produtos químicos na elevatória final da Estação de Tratamento de Esgotos de Barigui, localizada no município de Mongaguá, Estado de São Paulo.

A determinação da concentração de sulfeto de hidrogênio foi realizada através do método colorimétrico com comparação em escala padrão, kit da empresa Merck Milipore.

Foram testados quatro produtos químicos para controle da formação de sulfeto de hidrogênio: enzima, nitrato de amônio, nitrato de cálcio e peróxido de hidrogênio.

## Local dos testes

Os produtos químicos citados foram aplicados diretamente na Elevatória final da ETE Barigui e sendo uma linha de recalque não havia nenhuma contribuição no trecho entre esta elevatória e a unidade de tratamento (ETE), considera-se também que a tubulação opera com a seção cheia durante o bombeamento do esgoto.

A condição acima exposta é favorável, visto que é possível a determinação correta do tempo de retenção hidráulico e que durante o percurso não há perda de sulfeto para a atmosfera.

O recalque da elevatória possui 3.934 metros de comprimento e diâmetro de 600 mm, através da Figura 5 demonstra-se a localização espacial da Elevatória e da Estação de Tratamento de Esgotos.

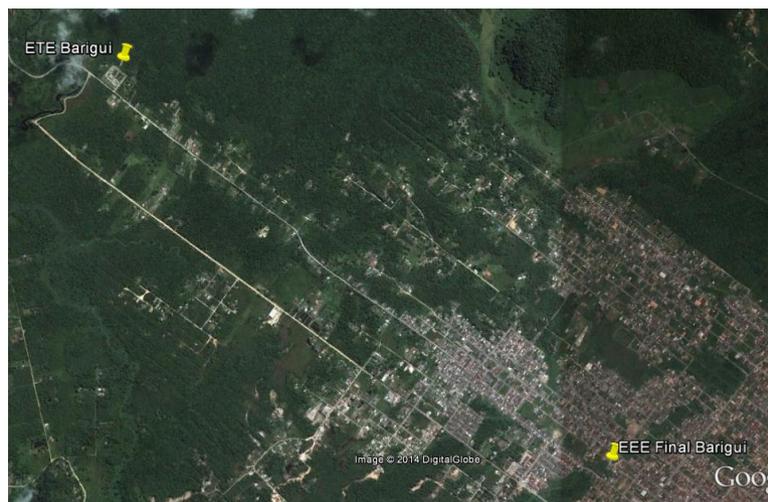


Figura 5 - Localização espacial entre a EEE Final e a ETE Barigui - Mongagua/SP

A concentração de sulfeto de hidrogênio foi medida nos meses de março/11, julho/11, fevereiro e março/12, Junho/12, agosto e setembro/12, sendo que a concentração média foi de  $0,794 \pm 0,455$  mgS/L. Devido a grande variação na concentração adotou-se para fins de cálculo a concentração de 1,249 mgS/L (média + desvio padrão).

Os dados foram agrupados pelo horário da realização da medição e encontrou-se o perfil da geração de sulfeto de hidrogênio dissolvido, conforme Figura 6.

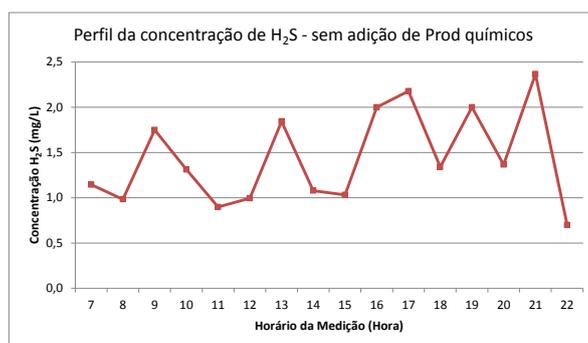


Figura 6 - Perfil da concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido na ETE Barigui (Concentração média + 01 desvio padrão)

### Aplicação de Peróxido de Hidrogênio – H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

O período de teste com o peróxido de hidrogênio a 60% ocorreu entre 20/12/11 à 29/02/12 totalizando um período de 71 dias.

Nesse período, a vazão média afluyente à ETE Barigui foi de 110,2 L/s com um tempo de detenção médio de 2 horas e 48 minutos, conforme tabela 1.

Neste período foram realizadas 363 análises e as dosagens de peróxido de hidrogênio a 60% testadas foram de 8,67; 11,87; 20 e 30 litros por hora.

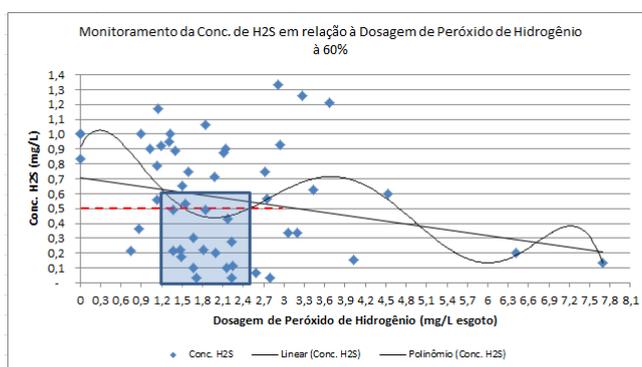
Estratificando os resultados analíticos verifica-se que 195 dados (54% do total) apresentaram concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido abaixo de 0,5 mg/L.

Analisando os dados apresentados através da figura 7, verifica-se que parte dos dados em que a concentração de sulfeto ficou abaixo do limite estabelecido esteve entre 1,2 e 2,5 miligramas de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por litros de esgoto tratado.

Há uma oscilação muito grande quanto as dosagens efetivas para manter a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mgS/L, mas consideraremos o valor de 1,8 mg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/L da área destacada em azul na figura 7 como um valor mais adequado, considerando ainda que para esta dosagem mássica corresponde a uma vazão de aplicação de 10,4 L/H de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> faixa na qual a maioria dos dados apresentaram-se abaixo da concentração limite.

*Tabela 1- Vazões de esgoto no período de testes de controle de sulfeto com aplicação de peróxido de hidrogênio*

Vazão média	110,1792	L/s	2h 48 min (2,8h)
Vazão mínima	31,8	L/s	9h 42 min (9,7h)
Vazão máxima	239,555	L/s	1h 18 min (1,3h)



*Figura 7 - Gráfico com a relação entre a concentração de H<sub>2</sub>S dissolvido contra a dosagem de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> por litro de esgoto tratado*

Considerando a concentração média de sulfeto de hidrogênio em 1,249 mg/L no esgoto afluente à unidade de tratamento e sendo a vazão média de esgotos no período do teste em 117 L/s, temos uma carga de sulfeto de 12,6 quilos por dia.

Portanto a dosagem adequada de peróxido de hidrogênio a 60% para controlar a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mg/L foi de 1,48 mgH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mg H<sub>2</sub>S, valor equivalente ao encontrado por Souza et.al, 2011.

### **Aplicação de Enzimas**

O período de teste com a enzima ocorreu entre 01/03/12 e 20/05/12 totalizando um período de 80 dias.

Nesse período, a vazão média afluente à ETE Barigui foi de 122,9 L/s com um tempo de detenção médio de 2 horas e 30 minutos, conforme tabela 2.

Neste período foram realizadas 246 análises e as dosagens de enzimas testadas foram de 2,9 e 4,7 litros por hora.

Estratificando os resultados analíticos verifica-se que apenas 79 dados (33% do total) apresentaram concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido abaixo de 0,5 mg/L.

Analisando os dados apresentados através da figura 8, que relaciona a concentração de sulfeto de hidrogênio e a vazão de dosagem da enzima, verificou-se não houve uma relação direta entre aumento de dosagem e a redução da concentração de sulfeto dissolvido.

Ganigue, et.al. (2011) relata que em testes realizados no laboratório do Centro Avançado de Gerenciamento das Águas da Universidade de Queensland com diversos produtos denominados de biomateriais e bio-produtos, nos quais enquadrámos a enzima aqui testada, também não apresentou bons resultados na remoção do sulfeto de hidrogênio.

Tabela 2- Vazões de esgoto no período de testes de controle de sulfeto com aplicação de enzimas

Vazão média	122,93	L/s	2h 30 min (2,5h)
Vazão mínima	42,6	L/s	7h 18 min (7,3h)
Vazão máxima	192,89	L/s	1h 36 min (1,6h)

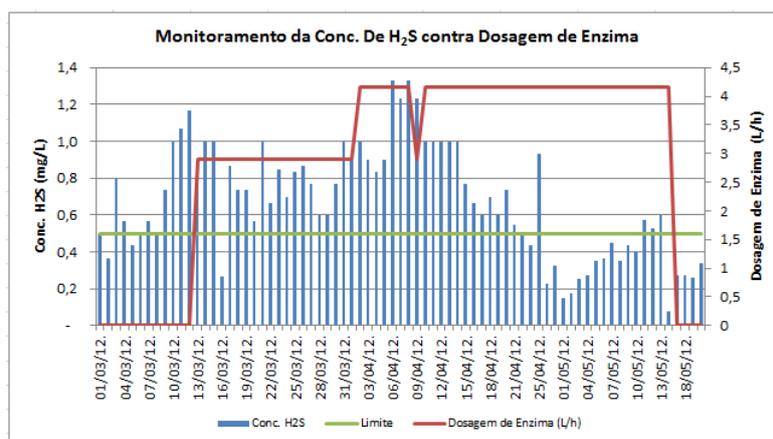


Figura 8 - Gráfico com a relação entre a concentração de H<sub>2</sub>S dissolvido contra da vazão de dosagem de Enzima

Portanto para a enzima, consideramos como ineficaz o tratamento para remoção do sulfeto de hidrogênio, nas condições a que foram expostas.

### Aplicação de Nitrato de Cálcio – Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

O período de teste com o nitrato de cálcio ocorreu entre 21/02/12 e 16/06/12 e entre 12/07/12 e 09/08/12 totalizando um período de 144 dias.

No período entre 17/06 e 11/07/12 não houve dosagem de nitrato de cálcio, pois neste período houve alta precipitação de chuvas contribuindo para a redução da concentração de sulfeto de hidrogênio.

No período em que houve a dosagem de nitrato de cálcio, a vazão média afluyente à ETE Barigui foi de 136,8 L/s com um tempo de detenção médio de 2 horas e 12 minutos, conforme tabela 3.

Neste período foram realizadas 273 análises e as dosagens de nitrato de cálcio testadas foram de 10,0; 14,9 e 20 litros por hora.

Estratificando os resultados analíticos verifica-se que 196 dados (72% do total) apresentaram concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido abaixo de 0,5 mg/L.

Analisando os dados apresentados através da figura 9, verifica-se tendência da curva linear e da exponencial a demonstrar que a partir da dosagem de 0,2 mg de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> por litro de esgoto já atingisse o objetivo de manter a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mgS/L.

Porém, como há dados somente a partir da dosagem de 0,899 mg de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> por litro de esgoto, vamos considerar esta dosagem como o limite mínimo para obtermos baixas concentrações de sulfeto na fase aquosa.

Tabela 3- Vazões de esgoto no período de testes de controle de sulfeto com aplicação de Nitrato de Cálcio

Vazão média	136,78	L/s	2h 12 min (2,2h)
Vazão mínima	87,21	L/s	3h 30 min (3,5h)
Vazão máxima	230,65	L/s	1h 18 min (1,3h)

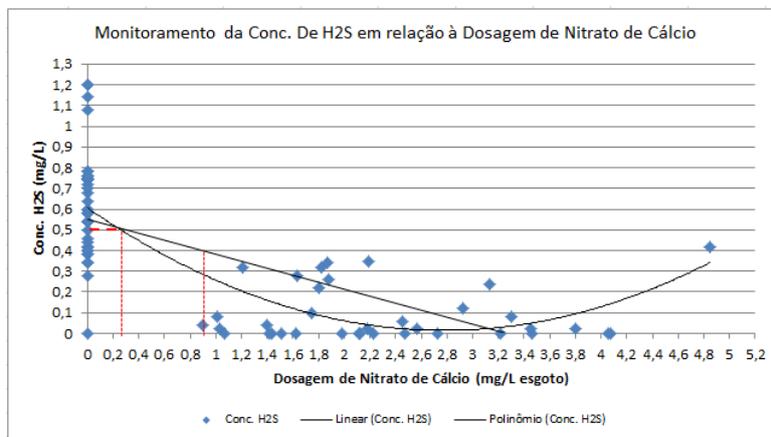


Figura 9 - Gráfico com a relação entre a concentração de H<sub>2</sub>S dissolvido e a dosagem de Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> por litro de esgoto tratado

Considerando a concentração média de sulfeto de hidrogênio em 1,249 mg/L no esgoto afluente à unidade de tratamento e sendo a vazão média de esgotos no período do teste em 141 L/s, temos uma carga de sulfeto de 15,2 quilos por dia.

Portanto a dosagem adequada de nitrato de cálcio para controlar a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mg/L foi de 0,74 mgCa(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>/mg H<sub>2</sub>S.

Não foram encontradas referências na bibliográfica quanto à dosagem de nitrato de cálcio em relação a concentração de sulfeto, CHURCHILL e ELMER (1999) realizaram testes na cidade de Bedford, Massachusetts/EUA e encontraram as melhores dosagens de nitrato de cálcio entre 7,1 à 35,8 L/H.

A dosagem volumétrica neste experimento esteve dentro desta faixa.

### Aplicação de Nitrato de Amônio – (NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>)

O período de teste com o nitrato de amônio ocorreu entre 13/09/12 e 31/10/12 totalizando um período de 48 dias.

Nesse período, a vazão média afluente à ETE Barigui foi de 114,41 L/s com um tempo de detenção médio de 2 horas e 42 minutos, conforme tabela 4.

Neste período foram realizadas 244 análises e as dosagens de nitrato de amônio testadas foram de 10,0; 18,0 e 25 litros por hora.

Estratificando os resultados analíticos verifica-se que 142 dados (58% do total) apresentaram concentração de sulfeto de hidrogênio dissolvido abaixo de 0,5 mg/L.

Analisando os dados apresentados através da figura 10, verifica-se tendência da curva linear e da exponencial a demonstrar que a partir da dosagem de 1,0 mg de (NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>) por litro de esgoto já atingisse o objetivo de manter a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mg/L.

Porém tal como ocorreu na avaliação dos dados de aplicação do nitrato de cálcio, há dados somente a partir da dosagem de 1,688 mg de (NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>) por litro de esgoto, vamos considerar esta dosagem como o limite mínimo para obtermos baixas concentrações de sulfeto na fase aquosa.

Tabela 4- Vazões de esgoto no período de testes de controle de sulfeto com aplicação de Nitrato de Cálcio

Vazão média	114,41	L/s	2h 42 min (2,7h)
Vazão mínima	72,49	L/s	4h 18 min (4,3h)
Vazão máxima	183,46	L/s	1h 42 min (1,7h)

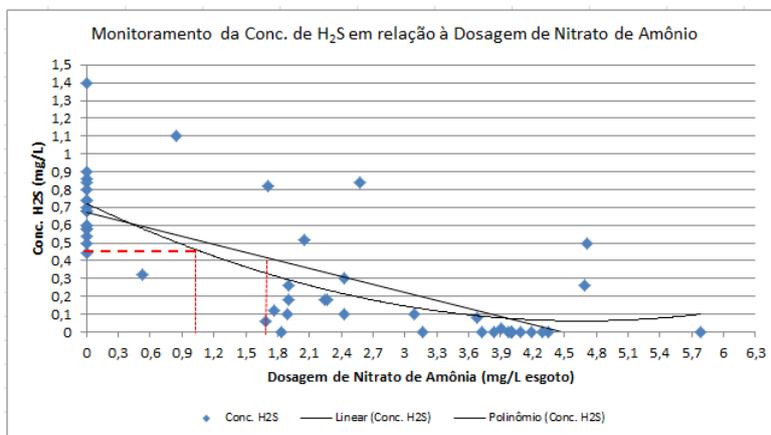


Figura 10 - Gráfico com a relação entre a concentração de H<sub>2</sub>S dissolvido e a dosagem de (NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>) por litro de esgoto tratado

Considerando a concentração média de sulfeto de hidrogênio em 1,249 mg/L no esgoto afluente à unidade de tratamento e sendo a vazão média de esgotos no período do teste em 114 L/s, temos uma carga de sulfeto de 12,3 quilos por dia.

Portanto a dosagem adequada de nitrato de amônio para controlar a concentração de sulfeto de hidrogênio abaixo de 0,5 mg/L foi de 1,31 mg(NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>)/mg H<sub>2</sub>S.

Não foi encontrado referências na bibliográfica quanto à dosagem de nitrato de amônia em relação à concentração de sulfeto.

### Conclusões/Recomendações

O local de pesquisa utilizado em escala real tem como ponto positivo testar os produtos em condições de processo, porém devido às variações de vazão, tempo de bombeamento e temperatura, entre outros fatores físicos e químicos presentes, há grande variação na interpretação dos resultados obtidos.

Entretanto, como o período de teste foi relativamente grande, foi possível atingir o objetivo da pesquisa que foi avaliação da eficiência de quatro produtos testados, culminando nos seguintes resultados:

- Enzimas: não efetivo
- Nitrato de Amônio: 1,31 mg (NH<sub>4</sub>)(NO<sub>3</sub>)/mg H<sub>2</sub>S.
- Nitrato de Cálcio: 0,74 mg Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> /mg H<sub>2</sub>S.
- Peróxido de Hidrogênio : 1,47 mgH<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/mg H<sub>2</sub>S.

Quanto ao peróxido de hidrogênio, os resultados obtidos neste estudo corroboram as conclusões de outros pesquisadores, mas para os demais produtos químicos não foram encontradas referências.

O motivo do maior consumo de peróxido de hidrogênio e de nitrato de amônia em relação ao nitrato de cálcio está sendo investigado.

A aplicação de produtos químicos nos sistemas de tratamento de esgotos não só evita problemas com a população e com os órgãos de fiscalização, como também previne a corrosão prematura dos coletores de esgotos e das estações elevatórias.

É recomendável que haja novos testes em escala piloto para confirmar as dosagens aqui definidas, visto que haveria maior controle das variáveis como vazão, temperatura e agitação do meio líquido.

## Referências Bibliográficas

1. ALVES, H.B., MOCHIDA, A.G.A., DA CRUZ, G.J.G., GOMES, D.C. Precipitação química e cloração para combate a maus odores em estações de tratamento de esgoto anaeróbias, Sanare. Revista Técnica da Sanepar, 21,21, 19-32. jan/jun.2004.
2. BEGHI, S., SANTOS, J.M., REIS JR., N.C., DE SÁ, L.M., GOULART, E.V., COSTA, E.A. Impact assessment of odours emitted by a wastewater treatment plant, IWA Publishing, Water Science & Technology, 66.10, 2012.
3. BOON, A.G., 1995. Septicity in Sewer: Causes, Consequences and Containment, Water Sci. tech., v31, nº7, 237-253.
4. BOWKER, R.P.G., SMITH, J. M., WEBSTER, N. A., 1989, Odor and Corrosion in Sanitary Sewerage Systems & Treatment Plants. Hemisphere Publishing Corporation.
5. CHURCHILL, P., ELMWE, D., 1999. Hydrogen sulfide odor control in Wastewater Collection Systems, Newea Journal, v33, nº1, 57-63.
6. COWDEN, S., WITHERSPOON, J., ORAKZAI S., KRAUSE, T. 2012, Abu Dhabi's strategic tunnel enhancement programme: odour extraction system approaches, IWA Publishing, Water Science & Technology, 66.7, 2012.
7. FIRER, D., FRIEDLER, E., LAHAV, O., 2008. Control of sulfide in sewer systems by dosage of iron salts: Comparison between theoretical and experimental results, and practical implications, Science of the Total Environment 392, 145-156.
8. GANIGUE, R., GUTIERREZ, O., ROOTSEY, R., YUAN, Z., 2011. Chemical dosing for sulfide control in Australia: An industry survey, Water Research 45, 6.564-6.574.
9. GIULIANO, R.C.S., 2002, **Avaliação do impacto da proliferação de odores ofensivos do tratamento de esgotos sobre a saúde e o bem estar públicos: ETE - Piracicamirim - Piracicaba - SP.** Tese Doutorado. FSP. São Paulo, 2002.
10. GUTIERREZ, O., DONGHEE, P., KESHAB, R.S., YUAN, Z., 2009. Effects of long-term pH elevation on the sulfate-reducing and methanogenic activities of anaerobic sewer biofilms, Water Research 43, 2.549-2.557.
11. JENSEN, H.S., NIELSEN, A.H., HVITVED-JACOBSEN, T., VOLLERTSEN, J., 2009. Modeling of Hydrogen Sulfide Oxidation in Concrete Corrosion Products from Sewer Pipes, Water Environment Research, v81, nº4, 365-373.
12. JIANG, G., KEATING, A., CORRIE, S., O'HALLORAN, K., NGUYEN, L., YUAN, Z., 2013. Dosing free nitrous acid for sulfide control in sewer: Results of field trials in Australia, Water Research 47, 4.331-4.339.
13. JOSEPH, A.P., KELLER, J., BUSTAMANTE, H., BOND, P.L. 2012, Surface neutralization and H<sub>2</sub>S oxidation at early stages of sewer corrosion: Influence of temperature, relative humidity and H<sub>2</sub>S concentration, IWA Publishing, Water research, 46, 2012, 4235 - 4245
14. LILIAMTIS, T.B., 2007, **Avaliação da adição de nitrato de amônia para redução de odor nos esgotos de Pereira Barreto – SP: reflexos na qualidade da água do reservatório de Três Irmãos, após dez anos de aplicação.** Tese Doutorado. FSP. São Paulo, 2007.
15. MINISTÉRIO PÚBLICO DO ESTADO DO ESPÍRITO SANTO, PROMOTORIA DE JUSTIÇA CUMULATIVA DE CASTELO, 2009, Ação Civil Pública com pedido liminar contra Companhia Espírito Santense de Saneamento – CESAN. Acessado em 24/02/2014 através do site: [http://www.mpes.gov.br/anexos/centros\\_apoio/arquivos/10\\_208161293132009\\_ACP%20-%20Castelo%20-%20ETE.pdf](http://www.mpes.gov.br/anexos/centros_apoio/arquivos/10_208161293132009_ACP%20-%20Castelo%20-%20ETE.pdf)

16. MOHANAKRISHNAN, J., GUTIERREZ, O., MEYER, R.L., YUAN, Z., 2008. Nitrite effectively inhibits sulfide and methane production in a laboratory scale sewer reactor, *Water Research* 42, 3.961-3.971.
17. NETO, J.G., 2010, Controle de Odores no Sistema de Esgoto Sanitário dos Municípios de Santos e de São Vicente com a utilização de Peróxido de Hidrogênio. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
18. RUDELLE,E.A., VOLLERTSEN,J., HVITVED-JACOBSEN,T., NIELSEN,A.H., 2013, Kinetics of aerobic oxidation of volatile sulfur compounds in wastewater and biofilm from sewers. In: 5th IWA Conference on Odor and Air Emissions. San Francisco/EUA.
19. SÁNCHEZ,A.G., MÁRQUEZ,T.E.F., MORALES,J.F.N., HERNÁNDEZ,J.E.L.,SAGASTUME,M.M., REVAH,S., 2013, Enrichment and development of a specialized sulfide-oxidizing bacteria consortium from wastewater for its deploying in full-scale biogas desulfurization. In: 5th IWA Conference on Odor and Air Emissions. San Francisco/EUA.
20. SENA, H.C., 2001. **INFLUÊNCIA DE ALTAS CONCENTRAÇÕES DE SULFATO NO TRATAMENTO DE ESGOTO PELO PROCESSO DE LODOS ATIVADOS CONVENCIONAL. São Paulo.** 248p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
21. SENA, H.C., CARIOCA, J.M., 2013, Odor Control with Application of Calcium Nitrate – Case Study in the Municipalities of Santos and Divinolândia - Brazil. In: 5th IWA Conference on Odor and Air Emissions. San Francisco/EUA.
22. SENA, H.C., SHIKISHIMA, R.T.K., 2011, Monitoramento e Controle de Odores na Cidade de Santos – Estudo de Caso. In: XIX Congreso Chileno de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental AIDIS. Concepción/Chile.
23. SHARMA, K., GANIGUE, R., YUAN, Z., 2013. pH dynamics in sewers and its modeling, *Water Research* 47, 6.086-6.096.
24. SILVA, A.B, 2007. **Avaliação da produção de odor na estação de tratamento de esgoto Paranoá e seus problemas associados.** Brasília, DF. 111p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.
25. SILVA, A.B., 2007. **Avaliação da Produção de Odor na Estação de Tratamento de Esgotos Paranoá e seus Problemas Associados.** Dissertação de Mestrado – UnB. Brasília, DF. Junho, 2007
26. SOUZA, M.L., CARDOSO, F.A., HARTMANN, C.M., GOMES, D., CARNEIRO, C., 2011, Minimização do Odor em Estação de Tratamento de Esgoto através da Utilização de Peróxido de Hidrogênio Oxidante de Sulfeto de Hidrogênio. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011
27. TAKAHASHI, A., 1983. **SULFETOS EM INTERCEPTORES DE ESGOTOS: OCORRÊNCIA, MEDIDAS PREVENTIVAS E CORRETIVAS.** São Paulo. 108p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
28. TANAKA, S., LEE, Y. H., 1997. Control of sulfate reduction by molybdate in anaerobic digestion, *Water Sci. tech.*, v36, n°12, 143-150.
29. WEN, Y.M., WANG, Q. P., TANG, C., CHEN, Z.L., 2012. Bioleaching of heavy metals from sewage sludge by *Acidithiobacillus thiooxidans* – a comparative study, *J Soils Sediments* 12, 900-908.
30. WOLSTENHOLME, P., MILLS, T., COLLETT, A., 2013, When “Green” Really isn’t Greenest: A design employing inorganic Biofilter media restores confidence and advances Biofilter Technology, While saving cost and energy. In: 5th IWA Conference on Odor and Air Emissions. SAN FRANCISCO/EUA.
31. XAVIER, G., DAVID, D.A., ALFRED, S., XAVIER, G., DAVID, G., 2013, Conversion of chemical scrubbers to biotrickling filters for VOCs and H2S treatment at low contact times. In: MALLHAUTIER, L. *Biotechniques for Air Pollution Control & Bioenergy.* Mines: Presses des Mines, 2013. p. 193-203.