ESTUDO PARA TRATABILIDADE EM ESCALA DE BANCADA E PILOTO DO CHORUME PRELIMINAR AO TRATAMENTO DE ESGOTO DO LAVAPÉS EM SÃO JOSÉ DOS CAMPOS

Fábio de Pádua Nakano[(1)]
Gerente da Divisão de Operações de Esgoto do Vale do Paraíba - Sabesp, Mestre em Engenharia Química pela Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

Endereço[(1)]**:** Av. Heitor Vila Lobos, 1229 – Vila Ema – São José dos Campos – SP – CEP: 12243-260- Brasil – Tel: +55 (12) 3947-3240 – email: **fnakano@sabesp.com.br**

RESUMO

O trabalho propõe o estudo de rota para a tratabilidade do Chorume preliminar ao Tratamento de Esgoto da ETE Lavapés localizada no município de São José dos Campos com o objetivo de reduzir a carga poluidora dos parâmetros-físicos químicos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais. O estudo definiu as seguintes operações unitárias Etapas de tratamento: a) insuflação de ozônio; b) Chorume bruto; c) Chorume Tratado; d) Chorume desinfetado por Cloro; e) Coagulação com Sulfato de Alumínio. Obteve-se como resultados a redução de 52,98% para fósforo total, 66,01% para remoção de DQO, 97,01 % para remoção de DBO e 59,80% par remoção de Sólidos Suspensos Totais. A proposta de pré-tratamento para o chorume recebido da ETE Lavapés, desenvolvida a partir das atividades descritas, tem elevado potencial de eficiência de remoção da carga poluidora do efluente, uma vez que é capaz de aumentar a biodegrabilidade do chorume e ao integrá-lo ao tratamento biológico, na própria planta operacional.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de Chorume, Eletrocoagulação e insuflação de ozônio.

INTRODUÇÃO

Com o aumento no crescimento populacional, os resíduos gerados apresentam também um constante aumento necessitando assim de um tratamento adequado. Para que diminua as contaminações de rios e solos, diversos tipos de tratamentos vem sendo estudados na tentativa de amenizar a situação (LO, 1996). Este trabalho visou o processo de tratamento por Processos Oxidativos Avançados (POA) para a tratabilidade do Chorume produzido em Aterro Sanitários.

Os Processos Oxidativos Avançados, segundo Sayid Abdulah *et al.* (2011) afirma que os POAs possuem a capacidade de oxidar quase todo o material reduzido presente nos corpos de água sem restrição a classes específicas ou grupo de compostos. Os Processos Oxidativos Avançados são os processos no qual a sua formação é feita por radical hidroxila (•OH), que é considerado um radical altamente oxidante. Sendo assim, este radical pode degradar vários compostos orgânicos transformando-os em gás carbônico, água e compostos inorgânicos devido ao alto padrão de redução. O processo oxidativo avançado utilizado foi o foto-Fenton.

Processos baseados na reação de Fenton têm sido aplicados com sucesso no tratamento de diversos tipos de efluentes industriais (VILLA *et al.*, 2007). Este processo se baseia em um radical hidroxila que é o responsável pela oxidação de compostos orgânicos realizada no escuro, conhecida como reação térmica de Fenton. Neste sistema Fenton os íons de Ferro são capazes de decompor peróxido de hidrogênio cataliticamente em água e oxigênio (NOGUEIRA *et al.*, 2007).

O Trabalho tem como objetivo utilizar os Processos Oxidativos Avançados (POA) e demais operações unitárias para a redução da carga poluidora dos parâmetros-físicos químicos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais.

OBJETIVO

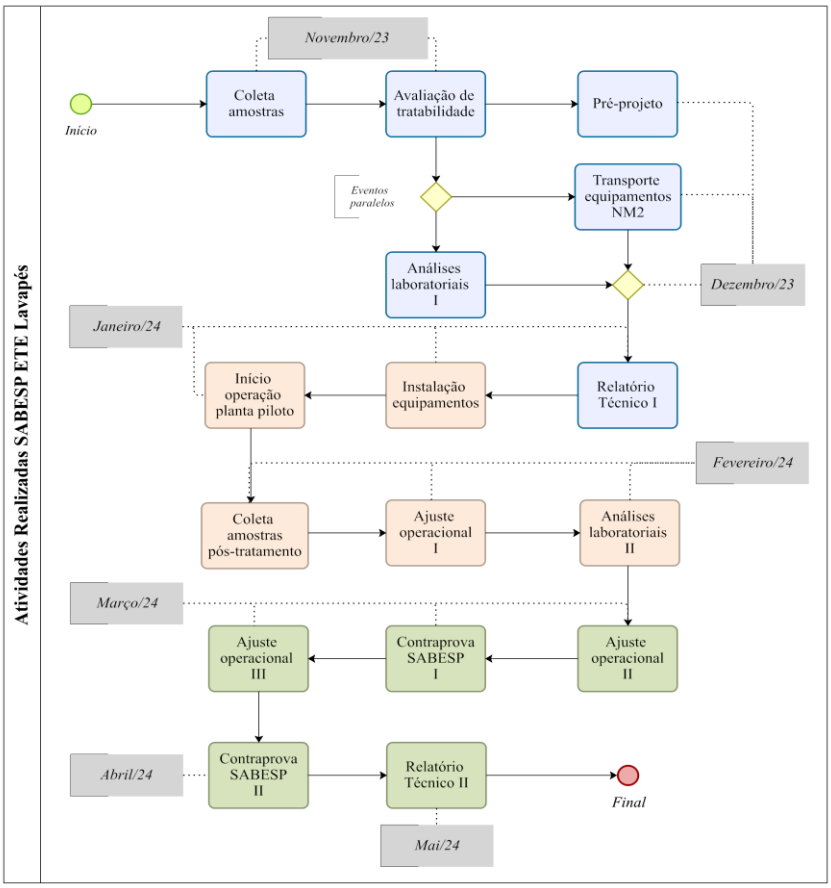
Tratar de maneira integral e ambientalmente adequada o Chorume, proveniente de Aterro Sanitário priorizando a redução da carga poluidora dos parâmetros-físicos químicos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio),

DQO (Demanda Química de Oxigênio), Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais, em conformidade com as legislações federais (CONAMA Nº 430) e estaduais pelo Decreto Estadual Nº 8468/76 Artigo 19A (SA˜O PAULO, 1986).

METODOLOGIA

A metodologia de desenvolvimento da proposta de pré tratamento se baseou em um estudo abrangente, dividido em etapas sequenciais e complementares durante o período de Novembro/2023 a Maio/2024, conforme destacado na Figura 1.

Figura 1: Concepção do Pré Tratamento de Chorume ETE Lavapés.



COLETA AMOSTRAS DE CHORUME

A primeira Etapa consistiu na coleta de amostras representativas do chorume bruto proveniente de diferentes Aterros Sanitários, no tanque de recebimento da ETE Lavapés na Figura 2.

Figura 2: Coleta Amostra de Chorume na ETE Lavapés.



Fonte: Autores

CARACTERIZAÇÃO DO CHORUME E TESTES DE TRATABILIDADE

As amostras coletadas foram enviadas para análise em laboratórios especializados com empresa parceira, localizada no Parque de Inovação Tecnológica (PIT) no município de São José dos Campos. Em seguida, foram submetidas a: a) Caracterização físico-química do efluente; b) Realização da avaliação de tratabilidade em escala de bancada, com objetivo de identificar a sequência de operações unitárias, rota tecnologia, mais adequada para aumentar a biodegrabilidade do chorume. O processo consistiu na análise laboratorial de uma parcela do chorume sem tratamento, seguido do tratamento do chorume em sistema projetado em reatores de acrílico, simulando as operações de desestabilização por insuflação de ozônio, eletrocoagulação e decantação simples, conforme Figura 3. Para avaliar a eficiência desses mecanismos na remoção da carga poluidora de pH, DBO, DQO, Fósforo Total, Nitrogênio Amoniacal e Sólidos Suspensos Totais.

Figura 3: Célula Eletrolítica – Configuração.



Fonte: Autores

Nesta célula, introduziu-se aproximadamente 40 litros de efluente em vazão constante e fluxo ascendente, com uma alimentação inicial de 40,0 V. Durante esse processo, monitoraram-se as variáveis de corrente (A) e

temperatura (°C), juntamente com a vazão e o nível de formação de espuma. O objetivo foi determinar o ponto ótimo de tratamento, caracterizado pela condição em que o efluente, ao sair do sistema (decantador simples), apresenta o maior grau de clarificação com baixa formação de espuma, mantendo vazão, temperatura e corrente constantes, conforme Figura 4.

Figura 4: Sistema com introdução do Chorume coletado.



Fonte: Autores

As amostras do pós-tratamento foram submetidas a testes para o aumento do grau de clarificação (Figura 5), sendo Amostra Sem tratamento (Becker à esquerda), Tratamento 1 (Becker do meio), com adição de 0,5 g de Sulfato de Alumínio, e Tratamento 2 (Becker à direita) com adição de 0,5 g de Cloro. Os resultados iniciais quanto à clarificação do efluente, foram inicialmente satisfatórios, apresentando potencial de remoção de cor aparente e indicação da tendência de melhoria na eficiência de tratamento.

Figura 5: Amostra sem tratamento, Tratamento 1 e Tratamento 2 (esquerda para direita).



Fonte: Autores

INSTALAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para operação da planta-piloto foi necessária a instalação de uma linha de energia elétrica, da cabine primária da ETE até a região onde o equipamento foi alocado, com potência nominal de 13 kW e ligação bifásica. Esta linha de energia comportou o controlador de tensão da operação de eletrocoagulação, gerador de ozônio e bomba para recalque do chorume bruto.

INÍCIO DA OPERAÇÃO DA PLANTA-PILOTO

A instalação da planta-piloto foi realizada a partir da sub etapa anterior, contendo os equipamentos destacados na Tabela 1:

Tabela 1: Componentes Planta-Piloto Pré-Tratamento Chorume e Eficiência de Remoção

Equipamento	Descrição
Quadro de energia	· Disjuntor 'Schneider': Easy9 3P 80A 4,5kA 230/400V CA curva C. · Disjuntor 'Steck': Trifásico 02A 3P Curva C 3KA Steck SDD63C02 · Disjuntor 'Steck: Bipolar 02A 2P Curva C 6KA Steck SDZD62C02 · Disjuntor 'Weg': Bipolar Duplo Mdw 10a
Gerador de Ozônio	· Vazão de operação: 60 m³/h · Pressão máxima ± 8,0 2kgf/cm² · Taxa de saturação de ar ± 5 a 10% · Temperatura de operação: Ambiente
Concentrador de Oxigênio	EverFlo 5L Philips Respironics
Regulador de Tensão (VARIAC)	TDGC2-3KVA JNG: 5Kv/20A
Mult´ımetro	Minipa ET 2033 B
Termômetro digital	Leitura: 0 - 300ºC
Bomba Submersa	900 5G Anauger - 220V
Célula eletrolítica	· 10 Tanques decantadores cilíndricos; · 2 Tanques prismáticos: – Tanque eletrólítico (direita) - eletrodos aço-carbono e alumínio: com espessura de 2mm; Altura: 800 mm; Largura do canal: 110mm; Espaçamento: 15mm. – Tanque decantador (esquerda)

Fonte: Autores

A célula eletrolítica, principal componente da planta-piloto, operou com vazão nominal de entrada 2,10 m³/h. O chorume bruto teve a desestabilização realizada por insuflação de ozônio na linha de recalque, seguindo para alimentação em ciclo (4-2-4) de 10 reatores cilíndricos que desempenham o papel de decantadores, cada reator com volume de 0,056 m³, totalizando 0,56 m³, com tempo de retenção hidráulica equivalente a 17 minutos, Figura 6.

Figura 6: Tanques Cilíndricos



Fonte: Autores

Após a saída dos tanques cilíndricos o efluente foi direcionado para dois tanques prismáticos, alimentados sequencialmente, com volume de 0,21 m³. O primeiro tanque prismático operou com eletrodos alternados de aço-carbono e alumínio, onde foram submetidos a uma tensão constante média de 41,20 V para realização da eletrocoagulação, de acordo com o ponto ótimo definido ainda na fase dos testes de bancada. Já o segundo tanque prismático operou como um decantador, para resfriamento do efluente e ajuste de vazão após saída da eletrocoagulação, Figura 7.

Figura 7: Tanques Prismáticos



Fonte: Autores

Após a confirmação e ajustes operacionais do sistema, iniciou-se a Etapa de amostragem do chorume tratado para verificação da eficiência da planta-piloto. As amostras foram coletadas após saída do segundo tanque prismático, com vazão constante em 0,33 m³/h, o volume coletado foi submetido à processos de pós-tratamento:

a) nova insuflação de ozônio para aumento do tempo de contato,

b) desinfecção por cloro; e

c) coagulação com sulfato de alumínio, a fim de reduzir a cor aparente e aumentar ainda mais a biodegrabilidade do chorume, processos representados nas Figuras 8.

A eficiência da planta-piloto foi avaliada em termos de pH, Nitrogênio Amoniacal, Fósforo Total, DBO e DQO. Os valores destes parâmetros indicaram a necessidade de novos ajustes operacionais, desta forma um sistema de filtragem foi incluído após o segundo tanque prismático e os POAs com reagente Fenton foi incluído no sistema.

Concluindo desta forma, a proposta de tratamento preliminar para o chorume recebido pela planta ETE Lavapés, consistindo em um sistema operacional baseado em aumentar significativamente a biodegrabilidade do chorume considerando as seguintes operações unitárias:

I) Insuflação de ozônio;

II) Decantação simples;

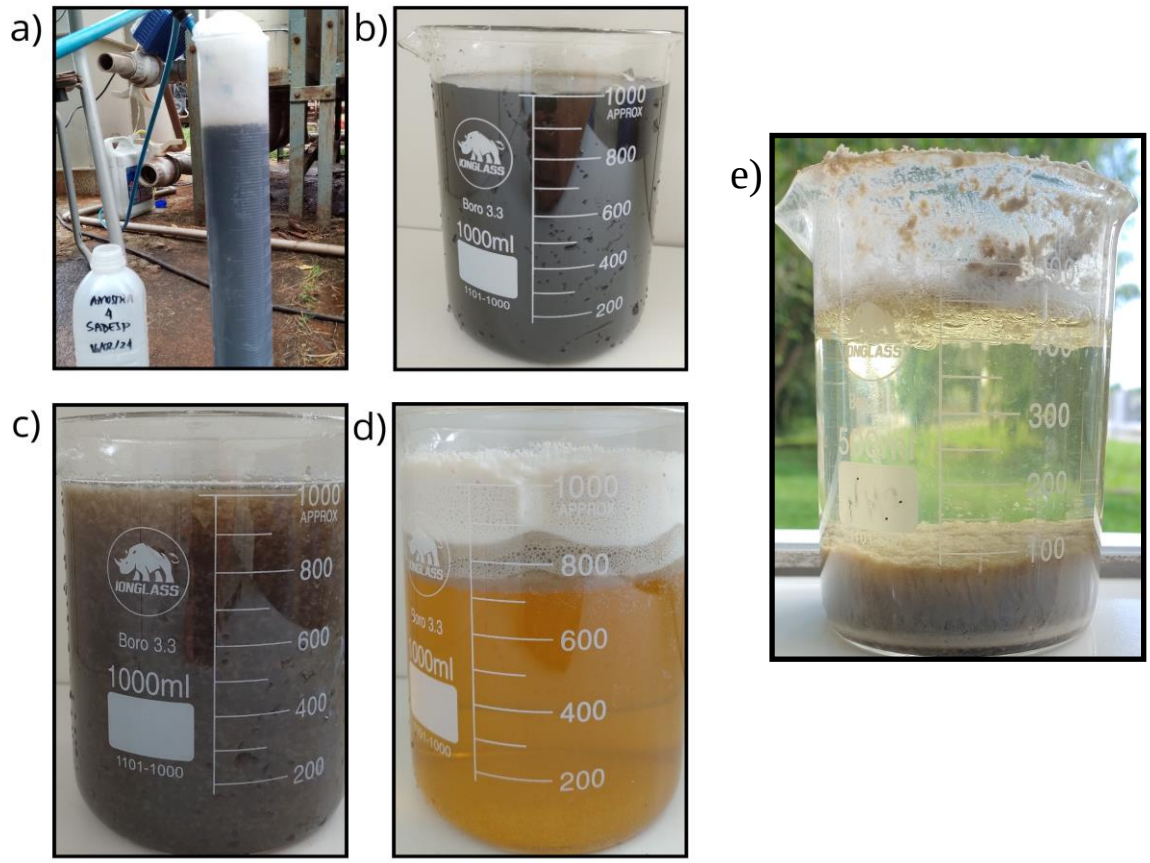
III) Eletrocoagulação;

IV) Filtração simples;

V) Processos Oxidativos Avançados (POAs) com reagente Fenton; e

VI) Desinfeção por Ozônio.

Figura 8: Etapas de tratamento: a) insuflação de ozônio; b) Chorume bruto; c) Chorume Tratado; d) Chorume desinfetado por Cloro; e) Coagulação com Sulfato de Alumínio.



Fonte: Autores

RESULTADOS OBTIDOS

O ponto ótimo de tratamento foi definido na avaliação em escala de bancada e foi replicado na planta-piloto, com tensão (V) de alimentação esteve constante em 40,0 (V), com temperatura e corrente estáveis em vazão constante (0,33 m³/h). Desta forma, a Tabela 2 ilustra a medição realizada nas variáveis do sistema que indicam ao ponto ótimo de tratamento, momento de coleta das amostras, tanto para a avaliação em bancada quanto para a planta-piloto. A Tabela 3 apresenta os resultados das análises laboratoriais realizadas pela empresa Resix Invent LTDA, para Amostra 1 - Sem tratamento R e Amostra 2 - Pós-Tratamento R, bem como os resultados do laudo de contraprova 'RELATÓRIO DE ENSAIO Nº TOQLV 10183 e 10184/24- 101 Versão 00', emitido pela SABESP, Entrada S e Saída S.

Tabela 2- Ponto ótimo de Amostragem.

Configuração	Tensão (V)	Corrente (A)	Temperatura (ºC)	*Formação de Espuma*
Operação	41,20	10,36	46,80	Baixa

Fonte: Autores

Tabela 3 - Resultados Físico-Químicos – Resix e Sabesp.

Parâmetros	Un.	Amostra 1 ^{R}	Amostra 2 ^{R}	Entrada ^{S}	Saída ^{S}
Fósforo Total	mg/L	70,2	28,2	17,10	7,95
DQO(Demanda Química de Oxigênio)	mg/L	8040	3180	5340	1815
DBO(Demanda Bioquímica de Oxigênio)	mg/L	2880	1240	898	25
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	-	-	1022	27

*Resultados referentes às análises laboratoriais da Resix estão destacados na identificação da Amostra com sobrescrito 'R' e 'S' para as análises da contraprova realizada pela SABESP.

Fonte: Autores

ANÁLISE E DISCUSSÃO DO RESULTADOS

Os resultados dos procedimentos operacionais adotados como proposta de pré-tratamento do chorume da ETE Lavapés estão fundamentados nas análises comparativas das quatro amostras, a Amostra 1 - Sem Tratamento e Amostra 2 - Pés-Tratamento, resultados obtidos durante as rodadas de bancada, e as Amostras de 'Entrada' e 'Saída' parâmetros obtidos em escala piloto. Ao passo que a Eficiência de Remoção (%) com (1) indica resultados obtidos na Etapa 1 e (5) resultados obtidos na Etapa 5. Definiu-se o ponto ótimo de amostragem para Amostra 2 com consumo médio em 0,41 kWh/m³ tratado. O comportamento das variáveis de tensão (V), corrente (A) e temperatura (ºC), durante a verificação do ponto ótimo, estão destacados na Figura 9.

Os resultados das análises químicas destacam excelente desempenho do sistema em relação à regulamentações vigentes, desta forma, os parâmetros de DBO e DQO estão em conformidade com a legislação, enquanto os parâmetros de Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais, apesar de estar em valores acima dos limiares, apresentam elevada eficiência de remoção, conforme Tabela 4.

Diante dos resultados, constatou-se, que o pré-tratamento proposto é capaz de aumentar significativamente a biodegrabilidade do chorume considerando as seguintes operação unitárias: I) insuflação de ozônio; II) decantação simples; III) eletrocoagulação; IV) filtração simples; V) Processos Oxidativos Avançados (POAs) com reagente Fenton; e VI) desinfecção por Ozônio. A análises realizadas pela SABESP (RELATÓRIO DE ENSAIO Nº TOQLV 10183 e 10184/24-101 Versão 00), evidenciam que a rota tecnológica indicada é ambientalmente adequada para tratamento do chorume.

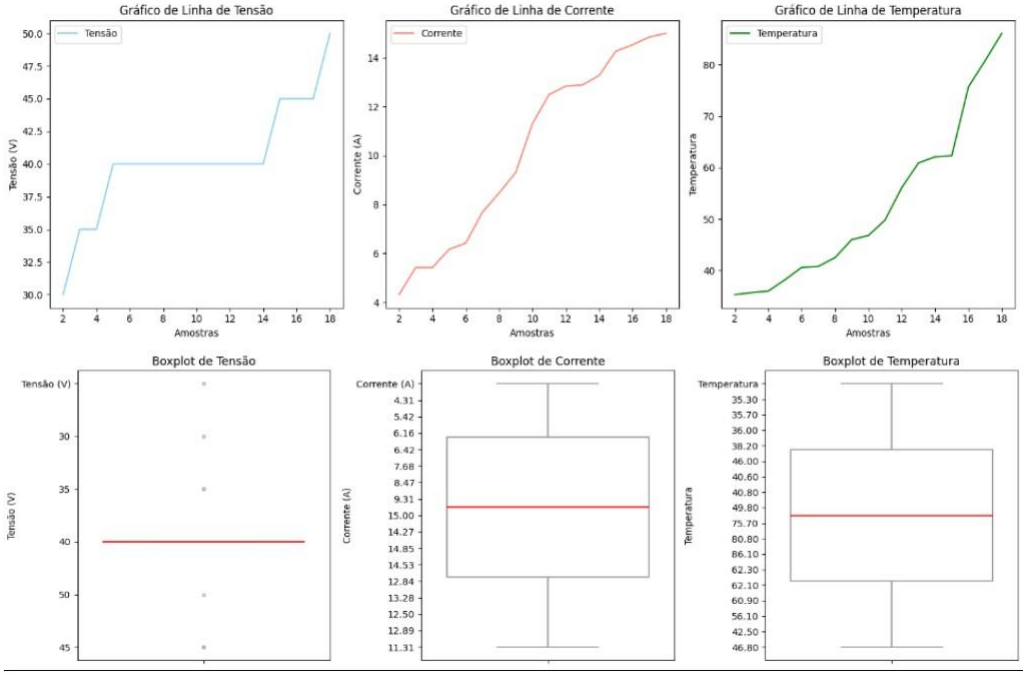
Tabela 4: Comparação Resultados Físico-Química e Eficiência de Remoção.

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Entrada	Saída	Remoção (%) [1]	Remoção (%) [2]
Fósforo Total	70,2	28,2	17,10	7,95	59,80%	**52,98%**
DQO	8040	3180	5340	1815	60,48%	**66,01%**
DBO	2880	1240	898	25	56,94%	**97,21%**
Sólidos Suspensos Totais	-	-	1022	97,35	-	**59,80%**

Resultados referentes às Etapa 1 e Etapa 5, respectivamente[1,2].

Fonte: Autores

Figura 9 - Chorume - Comportamento Tensão, Corrente e Temperatura



Fonte: Autores

CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos durante as atividades descritas evidenciaram excelentes resultados em termos de eficiência de remoção da carga poluidora de DBO, DQO, Fósforo Total e Sólidos Suspensos Totais, com valores para estes parâmetros abaixo do padrão de qualidade estabelecido pelos organismos ambientais. A proposta de pré-tratamento para o chorume recebido da ETE Lavapés, desenvolvida a partir das atividades descritas, tem elevado potencial de eficiência de remoção da carga poluidora do efluente, uma vez que é capaz de aumentar a biodegrabilidade do chorume e ao integrá-lo ao tratamento biológico, na própria planta operacional.

Na operação do sistema em escala de planta-piloto, instalada próximo ao tanque de recebimento de chorume, assegurou-se o alcance dos resultados satisfatórios, em termos legais. O conhecimento obtido na fase de teste das condições de ponto ótimo de operação em escala de bancada, permitiram replicar as condições para escala de projeto com ajustes da vazão e tempo de detenção hidráulica do efluente em cada seção do sistema de tratamento. Destaca-se que, em função da célula adotada e potenciais elétricos adotados, o comportamento da planta-piloto permite afirmar que a concepção proposta é bem promissora ao tratamento de chorume da ETE Lavapés, com eficiência, confiabilidade e baixo custo operacional. Estas afirmações são reforçadas nos resultados, que indicam baixo consumo energético, em média 0,41 KWh/m³ e baixo custo operacional, uma vez que com a taxa de corrosão verificada, as trocas dos eletrodos na célula eletrolítica seriam necessárias a cada 55 semanas, aproximadamente.

Vale ressaltar que os resultados obtidos poderiam ser ainda mais eficientes se houvesse um tipo de recebimento específico para cada tipo de chorume, diferentes tanques para as diferentes origens. A diversidade de chorume que o tanque de recepção da ETE Lavapés não permitiu com que o sistema ganhasse estabilidade e autonomia, dada as diferentes caracterizações dos chorumes recepcionados pelo tanque, ocasionando alta variabilidade nas características diárias do efluente. Desta forma, os parâmetros físico-químico que caracterizam o chorume, não permitiram com que o sistema operasse de maneira autônoma, o que reduziria o seu custo global.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABDULAH, S. S.; HASSAN, M. A.; NOOR, Z. Z.; ARIS, A. **Optimization of photo-Fenton oxidation of sulfidic spent caustic by using response surface methodology**. In national postgraduate conference, p. 1-7, 2011, IEEE.

2. CONAMA 357: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357 de 2005**. Brasília, 2005

3. CONAMA 430: Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 2011**. Brasília, 2011.

4. LO, I. M. **Characteristics and Treatament of Leachates From Domestic Landfills. Environment International**, v. 22 n. 4, p. 433 – 442, 1996.

5. NOGUEIRA R. F. P.; TROVÓ A. G.; SILVA M. R. A.; VILLA R. D.; OLIVEIRA M. C. O. **Fundamentos e aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton.** Revista Química Nova, v. 30, n. 2, p.400-408, 2007.

6. SÃO PAULO. **Decreto Estadual nº 8.486, de 1976. Estabelece regulamentações para o uso sustentável dos recursos hídricos em São Paulo.** Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 1 de janeiro de 1976, Seção 1, p. 3.

7. VILLA R. D.; SILVA M. R. A.; NOGUEIRA R. F. P. **Potencial de aplicação do processo foto-fento/solar como pré tratamento de efluente da insústria de laticínios.** Revista Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 8, p. 1799-1803, 2007.