

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS OXIDATIVO E DE BIORREATOR DE MEMBRANAS (MBR) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE TINTAS

ISABELA FERNANDES DA SILVA FONSECA

FACULDADES OSWALDO CRUZ

isafsfonseca@hotmail.com

IAN IGLESIAS

FACULDADES OSWALDO CRUZ

ian_iglesias@hotmail.com

EDUARDO TOSHIO DOMINGUES MATSUSHITA

FACULDADES OSWALDO CRUZ

eduardo.matsushita@oswaldocruz.br

VANESSA SILVA GRANADEIRO GARCIA

FACULDADES OSWALDO CRUZ

vanessagranadeiro@gmail.com

COMPARAÇÃO ENTRE OS PROCESSOS OXIDATIVO E DE BIORREATOR DE MEMBRANAS (MBR) PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES NA INDÚSTRIA DE TINTAS

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo comparar dois métodos de tratamento de efluentes líquidos de determinada indústria multinacional norte-americana de fabricação de tintas e vernizes a base de água. Os processos empregados e analisados neste trabalho foram: o sistema de tratamento oxidativo e o sistema de tratamento do tipo Biorreator de Membrana (MBR). Esse estudo foi realizado através da análise de parâmetros físico-químicos e orgânicos (DBO, DQO, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, chumbo, cobre, fenol, mercúrio e zinco) após o tratamento do efluente. Tais processos foram selecionados para estudo devido à substituição do sistema de tratamento oxidativo pelo sistema MBR na empresa citada. Com base nos dados obtidos de ambos os processos, foi estabelecido o método de tratamento mais viável nas esferas ambiental e econômica. Como parâmetro de definição da eficiência dos processos tomou-se como base a legislação vigente, em nível estadual e federal. À partir dos resultados obtidos, verificou-se que os processos foram eficazes e permaneceram de acordo com a legislação, sendo o MBR mais atrativo dos pontos de vista ambiental e econômico.

Palavras-chave: Tratamento de efluentes. Oxidativo. Biorreator de Membrana.

COMPARISON OF OXIDATIVE PROCESS AND MEMBRANE BIOREACTOR (MBR) FOR WASTE TREATMENT IN PAINT INDUSTRY

ABSTRACT

The aim of this work is to compare two methods of industrial liquid effluents treatment of a multinational north american industry that manufacture water-based paints and varnishes. The processes used and analyzed in this work were: the oxidative treatment system and the membrane bioreactor treatment system (MBR). This study was carried out by the analysis of physical-chemical and organic parameters (BOD, COD, oil and greases, dissolved oxygen, lead, copper, phenol, mercury and zinc) after treatment of effluents. Such processes were selected to study due to replacement of the oxidative treatment system by the MBR system in this industry. Based on the data of both processes it was established the most viable treatment method in the environmental and economic fields. The efficiency evaluation of the processes was realized based on the current state and federal legislations. From the obtained results, it was verified that both processes are efficient and in accordance with the legislation. Furthermore, the MBR system was the most attractive from the environmental and economic points of view.

Keywords: Industrial Effluent treatment. Oxidative. Membrane Bioreactor.

1. INTRODUÇÃO

O tratamento dos efluentes gerados na indústria é fundamental para enquadramento em legislação e descarte em corpos receptores ou redes coletoras. Desta forma, a maioria das empresas possuem uma unidade de tratamento – Estação de Tratamento de Efluentes ou Esgoto (ETE) – própria, que pode se diferenciar pelo método utilizado no processo, sendo este biológico, químico e/ou físico, como é o caso da indústria multinacional norte-americana alvo deste estudo que tem como área de atuação o setor de fabricação de tintas e vernizes.

As tintas são constituídas de solventes, resinas, aditivos e pigmentos, compostos orgânicos e inorgânicos, tornando necessária a realização do tratamento de efluentes, com o objetivo de reutilização deste, enquadramento na legislação e, por conseguinte preservação dos corpos receptores (rios, lagos, represas, mares, por exemplo), poupando a sobrecarga dos recursos hídricos.

Os parâmetros de lançamento destes efluentes são regulamentados de acordo com os padrões de emissão e de qualidade do corpo receptor. Neste caso, o órgão responsável pela operação e fiscalização define os padrões de inclusão do efluente na rede de tratamento ou corpo receptor, baseado em legislação pertinente. No Brasil, a resolução CONAMA 357/05 é responsável pelo estabelecimento das diretrizes de padrões de emissão de efluentes, e em São Paulo fica a cargo da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb) a fiscalização das indústrias emissoras.

Os principais parâmetros monitorados no tratamento de efluentes líquidos industriais e sanitários são: pH, temperatura, metais pesados, cianetos, óleos e graxas, oxigênio dissolvido (OD), fenóis e tensoativos/detergentes, turbidez, cor, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) (Cavalcanti, 2012; Piveli & Kato, 2006).

Com base nisso, realizou-se um estudo comparativo da eficiência entre dois processos de tratamento de efluentes utilizados em indústrias: oxidativo e de biorreator de membrana (MBR). Neste estudo foi possível verificar através da análise dos dados coletados que o sistema de tratamento MBR apresenta vantagens econômicas e ambientais superiores quando comparada ao método de tratamento oxidativo. Dentre os principais aspectos que tornam o sistema MBR uma técnica de tratamento superior destaca-se a redução drástica do uso de compostos químicos altamente nocivos ao meio ambiente, um maior volume de rejeitos tratados atrelado a uma baixa concentração de lodo seco produzido e um *saving* considerável ao longo de todo o processo.

2. TRATAMENTO DE EFLUENTES

A urbanização aliada às intensas atividades industriais são fatores que contribuíram ao longo do tempo para o panorama de degradação dos corpos hídricos. Neste cenário, como consequência do rigor imposto pela legislação, a busca por métodos eficientes para o tratamento de efluentes tornou-se uma preocupação central nas indústrias como uma forma de reduzir os impactos gerados pela degradação devido a alta carga de matéria orgânica e contaminantes tóxicos descartados. Os órgãos regulamentadores expedem suas leis e decretos que restringem a produção e emissão de denegridores do meio ambiente, obrigando as empresas a se adequarem aos parâmetros exigidos para se iniciar ou permanecer operando em seu segmento industrial.

Na indústria analisada é utilizado, atualmente, o sistema do tipo Biorreator de Membrana (MBR), um sistema de tratamento biológico que trata tanto os efluentes industriais como os sanitários produzidos na empresa. Anteriormente, o tratamento de efluentes nesta empresa era realizado pelo método oxidativo, composto de etapas físico-químicas, com adição

de peróxido de hidrogênio e outros compostos químicos para equilíbrio das reações, iniciando em um sistema primário de remoção de sólidos e de óleo livre/emulsionado (separador gravimétrico API).

2.1 SISTEMA DE TRATAMENTO OXIDATIVO

Os processos de oxidação são eficazes e vêm ganhando destaque no tratamento de águas residuais contendo produtos orgânicos, visto que técnicas mais convencionais não podem ser usadas para tratar tais compostos por causa de sua alta estabilidade química e / ou baixa biodegradabilidade (Poyatos *et al.*, 2010).

Neste método de tratamento, o efluente líquido proveniente da fábrica de tintas e da fábrica de resinas era encaminhado até a estação de tratamento por tubulações. O primeiro passo deste tratamento se dava na captação deste efluente em um tanque separador API, onde era realizada a separação de lodo e óleo por meio da gravidade. Segundo Fadel e Matusaki (2009), a separação gravitacional de tanques API apresenta uma eficiência entre 30 e 50%.

O lodo carregado de óleos e cargas minerais mais pesados permanecia no API e era removido nas manutenções periódicas com o auxílio de pás e escavadeiras, sendo encaminhado para aterros sanitários preparados para receber este tipo de dejetos.

A fase sobrenadante dos tanques API, ainda contaminada com os componentes das matérias-primas das tintas, era conduzida por tubulações para a segunda fase de tratamento, a neutralização. Nesta etapa, ocorria o primeiro tratamento físico-químico do processo, a partir da verificação inicial do pH para adição de cloreto férrico (FeCl_3) que como agente coagulante, aglomerava as partículas em suspensão em flocos para facilitar sua remoção.

Na sequência adicionava-se ao tanque soda cáustica (NaOH) para ajustar o pH e mantê-lo em um valor próximo de 7,0. Nestas condições, ocorria a seguinte reação: $2 \text{FeCl}_3 + 3 \text{NaOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3 + 3 \text{NaCl}$.

Em seguida, inicia-se a terceira fase do processo, chamada de floculação, que promove a decantação do lodo coagulado através da adição de uma solução de polímero. O efluente sedimentado é encaminhado para um terceiro tanque, denominado tanque de lodo, para a adição de outra solução de polímero, com o mesmo intuito da etapa anterior.

As etapas descritas acima são fundamentais para o tratamento adequado do efluente, Aboulhassan *et al.* 2006, destacam que em efluentes de tinta, o cloreto de ferro permite a remoção de 82% da demanda química de oxigênio (DQO) e 94% de cor. Somado, à adição de coagulantes e solução de polímeros, a remoção de poluentes aumenta significativamente, chegando à eficiência de remoção de DQO em 91% e a de cor em 99%.

A etapa seguinte do tratamento do lodo, a centrifugação, promove a separação automática da água restante no lodo. O lodo seco gerado é destinado a um aterro sanitário.

O efluente líquido proveniente da secagem da centrífuga unia-se ao efluente do tanque de neutralização (livre de partículas de lodo em suspensão) em um tanque de clarificação. Neste tanque adicionava-se ácido sulfúrico (H_2SO_4) ao efluente, para ajuste do pH no intervalo ácido próximo de 3,0. Essa etapa é necessária para aumentar a eficiência do tratamento com peróxido de hidrogênio (H_2O_2), próximo reagente adicionado ao meio.

Depois do ajuste do efluente para o pH ácido era retirada uma amostra para aferição de fenóis na água. Com base no resultado deste teste, calculava-se a quantidade de peróxido de hidrogênio que deveria ser adicionada para remoção do fenol do efluente. Por ser tratar de um composto de difícil remoção no tratamento, a concentração de fenol pode ser utilizada como indicadora da concentração de outros contaminantes do efluente, de tal maneira que uma baixa concentração de fenol implicaria em uma redução drástica da concentração de outros contaminantes.

Após a adição do peróxido de hidrogênio ao tanque de clarificação, o mesmo permanecia em agitação durante 3 horas, tempo suficiente para oxidar e eliminar os compostos e agregados orgânicos do efluente. Após este período, uma nova amostra era coletada para análise de fenóis no efluente após o tratamento com peróxido de hidrogênio. Se a ausência de fenóis fosse constatada, o pH do clarificado era elevado para 7,0 ou 8,0 com o auxílio da soda cáustica.

Sucessivamente a esta fase do processo, o efluente clarificado era encaminhado para a fase de filtração. A filtração, realizada em tanques de areia e brita, tem como objetivo remover as impurezas do efluente clarificado tornando-o apto para ser descartado nos corpos hídricos. “Alguns [filtros de areia] tem leito misto (areia e antracito). O leito superficial é para a remoção de sólidos mais grosseiros sendo compostos de antracito, e o leito mais profundo é composto de areia cuja granulometria pode variar ao longo das camadas” (Fadel & Matusaki, 2009).

Depois da passagem pelos filtros de areia, lançava-se o efluente no tanque de recalque, que é semelhante a um poço artesiano. O efluente tratado passava pelo filtro de carvão ativado para remoção de compostos orgânicos, refratários, detergentes, fenóis e outros compostos que não foram convertidos durante o tratamento (Leme, 2007). Sendo assim, o efluente seguia para descarte no corpo receptor, encerrando o processo de tratamento.

2.2 SISTEMA DE TRATAMENTO DO TIPO BIORREATOR DE MEMBRANA

O processo MBR consiste em um sistema biológico agregado às membranas de microfiltração ou ultrafiltração. Segundo Cavalcanti (2012): “As tecnologias de filtração e separação sólido-líquido por membranas porosas utilizadas comercialmente permitem remover substâncias que variam desde sólidos em suspensão até elementos iônicos”.

A configuração das membranas utilizadas no processo estudado é do tipo placas planas, que são módulos com camadas de membranas planas, e ficam submersas no reator biológico, empilhadas na horizontal ou vertical. O fluxo de passagem de líquido pelas membranas varia conforme ela é utilizada, pois pode ocorrer entupimento dos poros por sólidos em suspensão, sendo que, periodicamente deve haver uma manutenção nas membranas (Yoon, 2016; Cavalcanti, 2012).

O reator biológico possui lodo ativado, que é uma aglomeração de flocos formados pelo crescimento de várias espécies de microrganismos, que realizam a metabolização da matéria orgânica presente nos despejos, em condições aeróbias. O suprimento de oxigênio é feito através de aeradores com ar atmosférico, evitando assim a incrustação da superfície de filtração das membranas, promovendo através das bolhas de ar o fornecimento de oxigênio para os microrganismos e também a passagem do fluxo líquido entre os painéis de placas paralelas das membranas (Cavalcanti, 2012).

O efluente entra no reator biológico, que funciona em conjunto com as membranas de ultrafiltração – que pode separar sólidos em suspensão, óleos e graxas, silicatos, proteínas, microrganismos e outras macromoléculas. O diâmetro dos poros das membranas varia de 0,025 μm a 0,1 μm , a baixa pressão (Cavalcanti, 2012), e conforme o lodo ativado vai se formando, as membranas fazem a filtração desse lodo, tratando, assim, o efluente.

O processo inicial de coleta e tratamento do efluente permanece o mesmo do processo de tratamento de processo oxidativo. O efluente industrial é coletado nos tanques API, onde o lodo sedimentável é separado e o efluente sobrenadante é encaminhado aos tanques de neutralização (tanques de batelada), onde são realizados os processos de floculação e decantação através da adição das soluções de cloreto férrico (FeCl_3) e polímero. Após a passagem pelos tanques de neutralização, o efluente, com uma remoção parcial de sólidos, é

transportado através de tubulações para o tanque de equalização, responsável pelo controle da vazão de efluente para as próximas fases do processo.

Do tanque de equalização, ocorre o bombeamento para o tanque de coagulação, onde se adiciona policloreto de alumínio – PAC 18%, utilizado como aglomerante das partículas em suspensão. A sequência do tratamento ocorre no tanque de floculação, no qual adiciona-se polímero aniônico (o mesmo utilizado no início do processo) para aumentar a formação de flocos de materiais sedimentados.

Após esta etapa, o efluente é encaminhado para um flotador, que, através de uma concha giratória com a função de uma peneira, retira os sólidos suspensos presentes no efluente. Este equipamento opera em conjunto com uma bomba de pressurização. Caso ocorra um desequilíbrio operacional, este sistema confere uma maior estabilidade por conta da tendência dos lodos ativados flotarem automaticamente, facilitando a remoção dos sólidos (Fadel & Matusaki, 2009).

A última fase do tratamento ocorre no MBR, no qual o efluente chega até o reator por gravidade. No reator, o efluente industrial é misturado com o efluente sanitário da planta, este que passa por um filtro para remoção de impurezas grosseiras antes de se destinar ao reator MBR. Esta mistura dos efluentes é realizada para suprir a deficiência de nutrientes existentes no efluente industrial, que são necessários para a alimentação das bactérias no reator.

É nessa fase do processo que ocorre a remoção e/ou diminuição dos principais poluentes presentes no efluente industrial, como os metais pesados, fenóis, cianetos, tensoativos e detergentes, entre outros, garantindo ao efluente clarificado um reduzido teor de sólidos em suspensão e desinfecção, e atendendo aos parâmetros de monitoramento e controle da planta industrial. De acordo com relatórios da empresa, o teor de óleos e graxas na entrada do reator MBR também deve ser monitorado, pois é imprescindível que se tenha baixa concentração desses compostos na carga do MBR para prolongar a vida útil das membranas. É aconselhável que a retirada do lodo que se forma no reator seja realizada aproximadamente a cada 6 meses, porém este tempo é definido de acordo com a operação do reator.

Na empresa estudada inicialmente era realizado o tratamento de efluentes através de um método puramente químico. Neste sistema de tratamento o efluente era ajustado para atender aos parâmetros de descarte para captação em esgoto público. Entretanto, o maior problema era o alto consumo de produtos químicos no processo, especialmente de peróxido de hidrogênio. Já o reator biológico utiliza-se do efluente doméstico, e as membranas eliminam o consumo de peróxido de hidrogênio.

3. DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO-PROBLEMA

Efetou-se um levantamento de dados para se analisar a possível substituição do tratamento oxidativo utilizado na empresa pelo MBR, nova tecnologia apresentada como alternativa para um tratamento eficaz e com possíveis vantagens em relação ao antigo tratamento utilizado na empresa.

Na Figura 1 é apresentado um diagrama que ilustra a adaptação da atual estação de tratamento de efluentes com a introdução do novo método incluindo o reator biológico. Nessa ilustração são enfatizadas tanto as etapas que devem permanecer inalteradas quanto as que devem ser modificadas para a adaptação. As linhas tracejadas verdes (nas trajetórias representadas pelas linhas contínuas azuis) destacam o sistema de tratamento oxidativo enquanto que as linhas tracejadas vermelhas representam a atualização para o sistema de tratamento MBR.



Figura 1. Fluxograma dos tratamentos de efluentes por sistema oxidativo e MBR.
 Fonte: Arquivo pessoal, empresa de estudo, 2017.

Na tabela 1, estão apresentadas as vantagens e desvantagens dos processos utilizados para a empresa de estudo.

Tabela 1 Vantagens e desvantagens dos processos oxidativo e MBR para empresa de estudo.

Vantagens	Oxidativo: Lodos Ativados Convencionais; Tecnologia consagrada; Melhor definição dos requisitos de O ₂ ; Maior simplicidade operacional.
	MBR: MBR Submersa; Menor consumo energético; Áreas reduzidas para instalação; Efluente de saída com alta qualidade; Menor produção de lodo.
Desvantagens	Oxidativo: Perda de sólidos pelo decantador secundário; Baixa flexibilidade operacional; Maior geração de lodo; Maior área requerida.
	MBR: Membranas de difícil limpeza; Alto risco de crescimento microbiano na membrana; Riscos de segurança do trabalhador; Dificuldades em assessoria técnica.

Fonte: Arquivo pessoal, empresa de estudo, 2017.

4. ANÁLISE DA SITUAÇÃO PROBLEMA

Para os processos de tratamento de efluentes citados, fez-se um estudo dos dados obtidos por relatórios da empresa de tintas. Foram analisados os dados de quatro anos de cada processo, de 2009 a 2012 para o processo oxidativo e de 2013 a 2016 para o processo MBR. Na tabela 2 são apresentados os dados obtidos a partir das análises realizadas pela empresa estudada, assim como os parâmetros definidos pela Cetesb. Também foram comparados os resultados de “Efluente Tratado (L)” e “Lodo Base Seca (kg)” de ambos os processos.

As análises dos dados tabelados revelam que ambos os sistemas trataram os efluentes de acordo com as especificações exigidas pela legislação. Os dados evidenciam maior eficiência no método MBR no tratamento do efluente da empresa estudada. O sistema MBR aumenta em torno de 43% a quantidade de efluente tratado quando comparado ao sistema oxidativo. Além disso, verifica-se que a quantidade de lodo base seca por unidade de volume de efluente tratado gerada através do tratamento MBR, que foi destinada ao aterro sanitário, foi 23,52% inferior à quantidade de lodo base seca gerada com o processo oxidativo, já que o sistema MBR gera em média 21,88 gramas de lodo por litro de efluente tratado, enquanto o sistema oxidativo gerava em média 28,61 gramas de lodo por litro de efluente tratado.

Tabela 2 Resultados dos parâmetros analisados nos processos oxidativo (2009 a 2012) e MBR (2013 a 2016) em comparação com os parâmetros da CETESB.

PARÂMETROS	OXIDATIVO	MBR	CETESB
Vazão (m³/h)	2,330	2,757	-
Temperatura (°C)	22,338	22,619	< 40
pH	7,403	7,358	≥ 6,0 e ≤ 10,0
Resíduo Sedimentável (mL/L)	0,458	0,169	≤ 20,000
DBO bruto (mg/L)	4.611,458	8.050,104	-
DQO bruto (mg/L)	72.433,958	43.636,000	-
DBO tratado (mg/L)	287,000	60,153	-
DQO tratado (mg/L)	10.369,167	2.168,000	-
Óleos e Graxas (mg/L)	1,910	2,132	≤ 150,000
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	14,000	4,483	-
Chumbo (mg/L)	0,035	0,024	< 1,500
Cianeto (mg/L)	0,017	0,015	< 0,200
Clorofórmio (µg/L)	2,290	0,003	-
Cobre (mg/L)	0,047	0,019	< 1,500
Cromo Total (mg/L)	0,072	0,182	< 5,000
Estanho (mg/L)	0,045	0,136	< 4,000
Fenol (mg/L)	0,195	0,110	< 5,000
Merúrio (mg/L)	0,000	0,000	< 1,500
Níquel (mg/L)	0,032	0,015	< 2,000
Prata (mg/L)	0,004	0,008	< 1,500
Zinco (mg/L)	0,326	0,364	< 5,0
Efluente Tratado (L)	1.228.328,26	1.750.312,26	-
Lodo Base Seca (Kg)	35.148,58	38.305,39	-

Fonte: Arquivo pessoal, empresa de estudo, 2017.

Um balanceamento com os gastos necessários também foi realizado em cada fase para os dois tratamentos disponíveis, para avaliar o *saving* (redução de custo) aproximado com a substituição do processo oxidativo para o MBR, conforme tabela 3.

Tabela 3 Custos de operação anuais dos processos oxidativo e MBR.

Custos de Operação Anual	Oxidativo	MBR
Estágio Físico-Químico	R\$ 113.621,11	R\$ 113.621,11
Estágio Oxidativo	R\$ 1.308.463,82	R\$ 31.147,66
Custos Adicionais	R\$ 38.500,46	R\$ 14.325,84
Mão-de-Obra	R\$ 119.372,99	R\$ 159.315,47
Energia	R\$ 67.890,00	R\$ 222.679,20
Manutenção	R\$ 9.600,00	R\$ 28.800,00
Substituição de Membranas	R\$ -	R\$ -*
Custo de Operação Total	R\$ 1.657.448,37	R\$ 569.889,27
Savings	R\$ 1.087.559,10	66%

Fonte: Arquivo pessoal, empresa de estudo, 2017. *As membranas serão substituídas a cada cinco anos, se houver necessidade.

5. CONTRIBUIÇÃO TECNOLÓGICA- SOCIAL

Com base nos resultados obtidos durante este estudo, percebeu-se que os dois tratamentos atendem às normas da CETESB e CONAMA estabelecidas para a operação da

estação de tratamento de efluentes da empresa. Nota-se que o processo MBR conseguiu tratar um maior volume de efluente ao longo dos quatro anos comparados, com a média anual de tratamento de efluente superior ao do tratamento oxidativo em aproximadamente 522 m³. Isso ser deve ao fato que o MBR opera continuamente, diferente do processo oxidativo, que opera em batelada.

Por meio dos dados analisados através de relatórios fornecidos por esta indústria, e na comparação dos processos de tratamento de efluentes efetuada neste artigo, pois considerando o valor total do projeto de aproximadamente R\$ 2.704.833,48 e a economia com a troca de processo de R\$ 1.087.559,10 ao ano, sabe-se que o valor investido no projeto foi recuperado pela empresa em 3,5 anos, ou seja, o dinheiro investido foi recuperado em um curto prazo de tempo. Para efeito de manutenção, a cada 5 anos, se necessário, as membranas precisarão ser substituídas, gerando um custo de R\$ 93.655,04.

A implantação do processo MBR na indústria gerou maior economia de produtos químicos, principalmente no consumo de peróxido de hidrogênio, que é o principal produto desfavorável no balanço econômico do processo oxidativo. Mesmo com algumas fases da operação necessitando de um maior investimento pela empresa houve uma diminuição de R\$ 1.087.559,10 (66% de redução) de custos anualmente com a operação da estação de tratamento de efluentes a partir da troca de processos, fato que levou a concretização da mudança de sistema de tratamento de efluentes. Além disso, o processo por membranas demonstrou ser mais estável ao longo dos anos, uma vez que o uso de bactérias permite estabelecer um método de tratamento mais versátil para a degradação de uma variedade mais ampla de compostos químicos. Somado a isso, este processo se mostrou mais seguro e menos insalubre em comparação ao oxidativo. Cabe ressaltar, que além os ganhos econômicos, o MBR mostrou-se mais atrativo do ponto de vista ambiental, pelo uso de menor quantidade de compostos químicos e de lodo gerado no processo.

REFERÊNCIAS

- Aboulhassan, M.A.; Souabi, S.; Yaacoubi, A.; Baudu, M. 2006. Improvement of paint effluents coagulation using natural and synthetic coagulant aids. *Journal of Hazardous Materials* 138: 40-45.
- Cavalcanti, J. E. W. A. 2012. *Manual de Tratamento de Efluentes Industriais*. 2ª ed. São Paulo: Engenho.
- CETESB. Legislação ambiental controle de poluição das águas. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/ApresentacaoCetesb-SPGTLancamentoEfluentes17e18nov08.pdf>>. Acesso em: ago. 2016.
- CONAMA Conselho Nacional do Meio Ambiente. 2005. Ministério do Meio Ambiente; Resolução N 357.
- Fadel, K. H.; Matusaki, L. F. 2009. *Tratamento de Efluentes*. IIR TRAINING. São Paulo.
- Leme, E. J. A. 2007. *Manual prático de tratamento de águas residuárias*. 1ª Ed. São Carlos: EDUFSCAR.
- Piveli, R. P.; Kato, M. T. 2006. *Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos*. 1ª Ed. São Paulo: ABES.
- Poyatos, J. M.; Muñoz, M. M.; Almecija, M. C.; Torres, J. C.; Hontoria, E.; Osorio, F. 2010. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment: State of the Art*. *Water, Air, and Soil Pollution* 205:187.
- Yoon, S. H. 2016. *Membrane Bioreactor Processes: Principles and Applications*. Nova Iorque: Taylor & Francis.