

II-100 - AVALIAÇÃO DA SEPARAÇÃO DO LODO DE PROCESSO OXIDATIVO AVANÇADO POR MEMBRANAS EM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE MÓDULOS

Wagner Guadagnin Moravia⁽¹⁾

Engenheiro Civil, Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Prof. Efetivo do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Míriam Cristina Santos Amaral

Engenheira Química, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil. Prof^a. Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Túlio Luís dos Santos

Graduando em Química Tecnológica. Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Mariana Moreira Zico Roberto

Graduando em Química Tecnológica. Bolsista de Iniciação Científica no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais/Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental. Av. Amazonas, 5253 / 2º andar / Sala 201 – Nova Suiça - Belo Horizonte - MG - CEP: 30.421-169 - Brasil - Tel: (31)3319-7120 - e-mail: moravia@deii.cefetmg.br

RESUMO

Os processos mais usuais para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário são os biológicos, que têm se mostrado insuficientes para o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação. Uma alternativa atrativa para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário estabilizados são os processos oxidativos avançados empregando o reagente de Fenton (POA/Fenton). No entanto, a aplicação do POA/Fenton é limitada pela geração de lodo no processo. A conjugação do POA/Fenton com a microfiltração (MF) permite a eliminação da etapa de decantação utilizada na separação do lodo, diminuindo drasticamente o tempo de tratamento. A incrustação das membranas tem sido um fator limitante para a aplicação de processos de separação por membranas, sendo que resulta no declínio do fluxo permeado com o tempo, tornando-o independente da diferença de pressão através da membrana. A seleção adequada da configuração dos módulos de membranas pode ser usada para minimizar a incrustação. A configuração do módulo define como as membranas são arranjadas, como é realizada a distribuição do fluido e determina a demanda relativa de energia, facilidade de limpeza e substituição da membrana e a densidade de empacotamento. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a melhor configuração do módulo de MF (submerso ou pressurizado) para remoção do lodo através de POA/Fenton-MF no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Os resultados mostraram que o módulo submerso foi mais adequado para separação do lodo gerado no POA/Fenton quando comparado com módulo pressurizado, por apresentar menor formação de incrustação durante a operação dos mesmos sem comprometer a qualidade do efluente tratado. Constatou-se também que a aeração na base deste tipo de módulo contribuiu significativamente para a redução da incrustação melhorando ainda mais o desempenho dos módulos submersos.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo, Processo oxidativo avançado, Membranas, Módulo pressurizado, Módulo submerso.

INTRODUÇÃO

Os processos mais usuais para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário são os biológicos, que têm se mostrado insuficientes para o atendimento aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação, principalmente no caso de lixiviados de aterro sanitário estabilizados. Em geral, as técnicas de tratamento para esse tipo de lixiviado são baseadas em processos químicos, pois capazes de promover a degradação ou até mesmo a mineralização da matéria poluente refratária, podendo haver a combinação entre diferentes técnicas ou serem conjugados com processos biológicos (KURNIAWAN *et al.*, 2006).

Uma alternativa atrativa para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário são os processos oxidativos avançados empregando o reagente de Fenton (POA/Fenton). No entanto, a aplicação do POA/Fenton é limitada pela geração de lodo no processo. Esse lodo, além de compostos orgânicos persistentes, possui elevada concentração de ferro, o que torna necessária sua separação do efluente tratado.

A conjugação do POA/Fenton com a microfiltração (MF) apresenta diversas vantagens. A etapa de decantação utilizada na separação do lodo pode ser eliminada com o uso da MF, diminuindo drasticamente o tempo de tratamento. Essa associação também permite uma maior eficiência de remoção de poluentes, por oferecer tratamento complementar visando ao enquadramento do efluente segundo os padrões da legislação vigente, além de economia nos requisitos de área para a implementação da planta de tratamento, característica esta evidente dos processos de separação por membranas quando comparadas com técnicas convencionais de tratamento (MORAVIA, 2010; HABERT *et al.*, 2006).

Apesar das vantagens, a incrustação de membranas, algumas vezes, tem sido um fator limitante para a aplicação destes processos. A incrustação da membrana resulta no declínio do fluxo permeado com o tempo, tornando-o independente da diferença de pressão através da membrana. A seleção adequada das características da alimentação tais como pH e temperatura da alimentação, da configuração dos módulos, das condições hidrodinâmicas do sistema e das técnicas de limpeza pode ser usadas para minimizar a incrustação.

A configuração do módulo define como as membranas são arrançadas, como é realizada a distribuição do fluido e determina a demanda relativa de energia, facilidade de limpeza e substituição da membrana e a densidade de empacotamento. Geralmente, os sistemas de POA/Fenton-MF requerem módulos que possam operar com elevada concentração de sólidos suspensos, com baixa demanda energética e alta densidade de empacotamento.

A seleção da configuração do módulo mais adequado a uma aplicação particular é tão importante quanto à seleção do material da membrana, e nesta é importante garantir que o nível de separação exigido será atendido e que o nível de incrustação não irá atingir níveis intoleráveis, os quais podem afetar o empacotamento do módulo de membranas, dificultando a aplicação em larga escala e, conseqüentemente, diminuir eficiência do processo.

Para membranas de fibra oca, foco deste trabalho, é possível rearranjá-las em módulos pressurizados e submersos. Os módulos submersos apresentam baixo consumo de energia, baixo fluxo de permeado que combinando com a fricção das bolhas de ar e dos sólidos em suspensão na superfície da membrana contribui para reduzir as incrustações nas membranas, diminuindo a frequência de limpezas químicas. O sistema de permeação utilizado para os módulos pressurizados explora o escoamento tangencial da alimentação no interior do módulo de permeação. O escoamento tangencial visa à redução da camada polarizada sobre a superfície da membrana, bem como a redução do acúmulo de material.

Desta forma o objetivo deste artigo é avaliar a melhor configuração do módulo de MF (submerso ou pressurizado) para remoção do lodo através de POA/Fenton-MF no tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostragem e caracterização físico-química inicial do lixiviado bruto

O lixiviado bruto empregado nesta pesquisa é proveniente da Central de Tratamento de Resíduos Macaúbas (CTR-Macaúbas) na cidade de Sabará/MG – Brasil. Esta estação encontra em fase de operação à 5 anos, ocupa uma área rural de 83,5 ha, tem capacidade operacional diária de 2.400 t de resíduos, gera em média 20 m³/h de lixiviado e atende os municípios de Belo Horizonte, Sabará, Caeté, Nova Lima, Pedro Leopoldo, Moeda, Ibirité, Capim Branco, Matozinhos e Confins. Os parâmetros físico-químicos contemplados neste estudo foram: cor real, DQO total, pH, condutividade e sólidos totais. As análises foram realizadas em conformidade com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005). O efluente foi caracterizado em dois períodos sazonais: déficit hídrico – abril/2013 a setembro/2013 e superávit hídrico – outubro/2013 a março/2014.

Unidade experimental

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram avaliadas duas configurações para o sistema de MF. O primeiro utilizava módulos de permeação pressurizados e o segundo módulo de permeação submerso. A Figura 1 apresenta o protocolo esquemático dos sistemas de microfiltração para ambos os tipos de módulos empregados (pressurizado *versus* submerso).

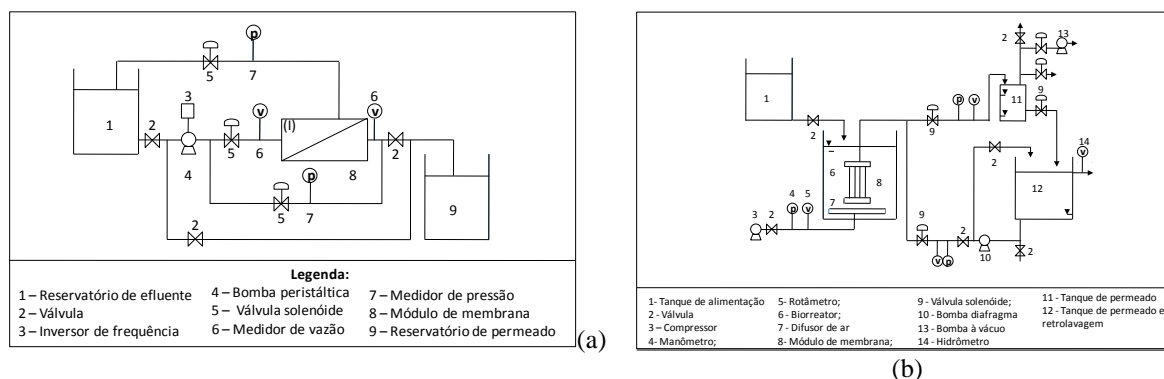


Figura 1: Protocolo esquemático dos sistemas de microfiltração: (a) Pressurizado; (b) Submerso.

O sistema de microfiltração pressurizado é constituído de um reservatório de alimentação com capacidade para 10 L, bomba para circulação da alimentação, módulo de membranas de microfiltração, manômetro, rotâmetro (alimentação e permeado) e dois reservatórios, um para coleta do permeado e outro para coleta do retido.

Diferente do sistema pressurizado, no sistema submerso o módulo de microfiltração encontra-se no interior do tanque de alimentação. Para minimizar os efeitos da polarização de concentração e acúmulo de material sobre a superfície da membrana durante o processo de permeação foi utilizado aeração na base do módulo. O sistema de microfiltração com membrana submersa possui um tanque de membrana 6 L e quatro correntes de processo: linha de alimentação do sistema, contendo efluente a ser tratado; linha de ar comprimido para aeração do módulo de membrana, quando for o caso; linha de efluente microfiltrado; linha de vácuo; linha de permeado para retrolavagem.

POA empregando reagente de Fenton (POA/Fenton)

Para realização dos ensaios de POA/Fenton, 5 L de lixiviado bruto foram transferidos para um reator de mistura e teve seu pH ajustado para o pH de reação ($\text{pH} = 3,8$) pela adição de ácido sulfúrico. Após ajuste do pH, foram adicionados sulfato ferroso hepta-hidratado (marca Synth) e peróxido de hidrogênio 30% v/v (marca Vetec), empregando uma relação de $\text{DQO}:\text{H}_2\text{O}_2:\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O} = 10:6:1$. Durante os 28 minutos de reação, o sistema foi mantido sob agitação mecânica com velocidade de rotação de 115 rpm. Alíquotas de amostras pré e pós-tratamento foram coletadas e caracterizadas. As condições operacionais foram otimizadas por Moravia (2010).

POA/Fenton-MF – Módulo pressurizado *versus* módulo submerso

Os módulos de membranas pressurizados e submerso eram constituída por membranas do tipo fibra oca composta por poli(éter imida) e camada seletiva externa contendo poros com tamanho médio de $0,5 \mu\text{m}$. As membranas foram fornecidas pela empresa PAM Membranas Seletivas LTDA. O módulo pressurizado apresenta uma conformação semelhante a um trocador de calor tipo casco e tubo, com uma área útil de membrana de $0,04 \text{ m}^2$ e densidade de empacotamento de $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$. A alimentação do módulo foi realizada no interior da carcaça e o permeado foi coletado no interior das fibras ocas. ³. Já o módulo submerso apresenta uma de suas extremidades fechada enquanto a outra é aberta para permitir o escoamento do permeado que é realizado por dentro das fibras. Este módulo possuía exatamente as mesmas características operacionais para permitir uma comparação, ou seja, era constituído por uma área útil de membrana de $0,04 \text{ m}^2$ e densidade de empacotamento de $500 \text{ m}^2/\text{m}^3$.

Para comparação do desempenho dos módulos de membranas, os dois tipos foram monitorados quanto ao fluxo de permeado, durante operação com pressão negativa (vácuo) de 0,25 bar e pressão positiva de 0,25 bar para os módulos submerso e pressurizado, respectivamente, adotando taxa de recuperação de 60%. A remoção

do lodo pela membrana foi avaliada através do monitoramento das concentrações de DQO total, cor real, condutividade e sólidos totais, tanto na alimentação quanto no permeado.

Na comparação entre módulos submersos sem e com aeração, quando pertinente, a vazão de aeração aplicada foi de $0,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Para determinação das condições operacionais foi determinado o fluxo crítico e a taxa de recuperação ótima. O fluxo crítico para microfiltração é o fluxo abaixo do qual não é observado declínio do fluxo com o tempo e acima do qual ocorre incrustação, e seu valor depende da hidrodinâmica do processo (FIELD *et al.* 1995). Para obtenção do fluxo crítico, a pressão foi fixada e o fluxo de permeado foi monitorado por intervalos de 15 minutos. Após cada incremento do valor de pressão ocorreu o monitoramento do fluxo permeado. Para determinação do fluxo crítico os valores de pressões avaliados foram de 0,20, 0,25, 0,30, 0,35, 0,40, 0,45 e 0,50 bar.

Para avaliação da taxa de recuperação o sistema foi operado com retorno apenas do concentrado para o tanque de alimentação da microfiltração. Durante a permeação a pressão aplicada foi mantida em 0,25 bar (valor inferior a pressão crítica, obtida nos ensaios de fluxo crítico. Tanto o permeado quanto a alimentação e o concentrado foram analisadas ao longo de todo o teste. O fluxo de permeado também foi monitorado.

Avaliação do desempenho do POA empregando reagente de Fenton conjugado com módulos submersos de microfiltração

Os ensaios para a avaliação do desempenho do POA empregando reagente de Fenton conjugado com módulos submersos de microfiltração foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa foi gerado 5 L de lixiviado tratado por POA/Fenton conforme condições operacionais indicadas anteriormente. Na segunda etapa, o efluente pós-POA/Fenton foi submetido ao processo de MF nas seguintes condições operacionais: valor de pH igual a 7,0, pressão de operação referente à pressão inferior a do fluxo crítico e vazão de aeração de $0,5 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.

Para a caracterização do efluente pós-tratado foram realizadas amostragens onde foram contemplados os seguintes parâmetros físico-químicos: cor real e aparente, DBO, DQO, COT, pH, alcalinidade, série sólidos, nitrogênio total e amoniacal, fósforo, cloretos e metais.

RESULTADOS

Caracterização físico-química inicial do lixiviado bruto

Na Tabela 1 são apresentados os valores de máximos, mínimos, médios e respectivos desvios obtidos dos parâmetros avaliados do lixiviado bruto em diferentes períodos sazonais. Foram realizadas 05 amostragens para cada período sazonal.

Tabela 1: Caracterização inicial do lixiviado bruto em diferentes períodos sazonais.

Parâmetros físico-químicos	Unidade	Déficit hídrico				Superávit hídrico			
		Máx.	Mín.	Média	Desvio	Máx.	Mín.	Média	Desvio
Cor real	uH	3.344	937	1.506	848	1.031	609	733	122
DQO total	mg L^{-1}	5.673	2.301	3.942	1.018	3.963	2.200	3.160	584
pH	-	8,99	8,05	8,46	0,30	8,90	8,06	8,44	0,32
Condutividade	ms cm^{-1}	30	24	25	2	28	14	18	5
ST	g L^{-1}	11,3	9,7	10,3	0,5	8,0	6,5	7,2	0,6
STF	g L^{-1}	8,2	7,4	7,7	0,3	5,8	4,7	5,2	0,4
STV	g L^{-1}	3,1	2,2	2,6	0,3	2,4	1,7	2,0	0,2

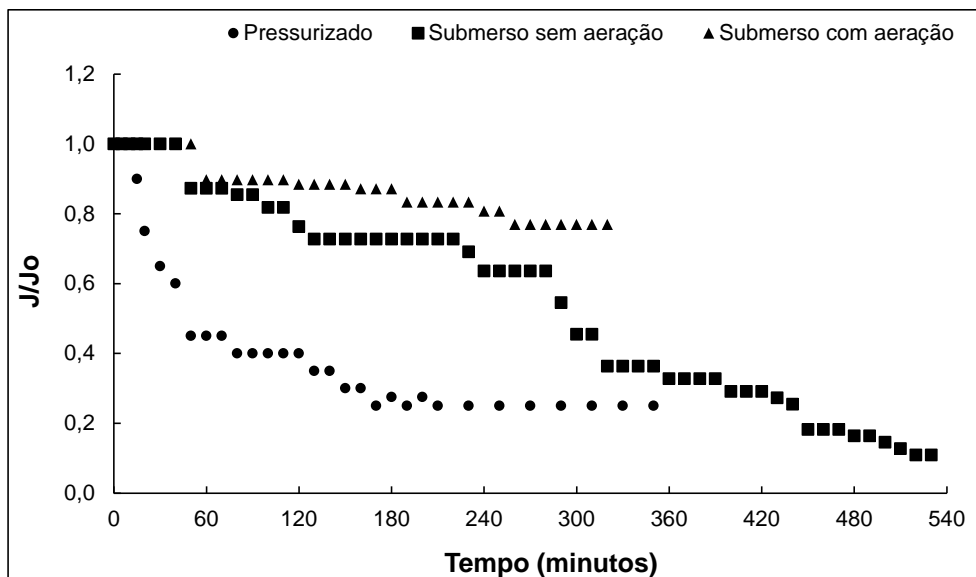
Obs. ST-Sólidos Totais, STF-Sólidos Totais Fixos, STV-Sólidos Totais Voláteis.

Em ambos os períodos sazonais, observou-se uma alta concentração de matéria orgânica em termo de DQO ao longo de toda a caracterização. A baixa relação DBO/DQO indicou a baixa biodegradabilidade do lixiviado,

confirmando a proximidade de um estado avançado de estabilização. O pH apresentou valor moderadamente elevado em relação ao encontrado na literatura para lixiviados com características semelhantes, o que pode estar relacionado com as características específicas da matriz de resíduos (ocorre lançamento de resíduos da construção civil juntamente com os domésticos). Constatou-se também um baixo teor de sólidos em totais, o que pode estar associado à coleta deste efluente em um tanque de equalização.

POA/MF – Módulo pressurizado x módulo submerso

Na Figura 2 são apresentados os perfis do fluxo operacional em relação ao fluxo inicial para permeação na MF pressurizada e submersa (com e sem aeração) do líquido reacional do POA empregando reagente de Fenton.



**Figura 2: Decaimento do fluxo durante operação com taxa de recuperação de 60%.
(J_0 = fluxo de permeado inicial)**

Observa-se que o módulo submerso apresenta menor queda de fluxo de permeado durante operação com taxa de recuperação de 60% em relação ao módulo pressurizado e que a aeração contribui para redução da queda do fluxo no sistema com módulo submerso. A menor queda de permeabilidade no módulo submerso pode estar associada ao fato de que, durante a operação, o lodo sedimenta reduzindo desta forma a concentração de lodo nas proximidades da superfície da membrana, e no caso do módulo submerso com aeração, o cisalhamento causado na superfície da membrana pelas bolhas ascendentes contribuem para o controle da incrustação. Entretanto, observou-se um decaimento do fluxo a partir do tempo de filtração de 280 minutos para o caso do módulo submerso sem aeração a valores inferiores ao observado para o módulo pressurizado. Estes resultados indicam que o aumento do potencial de incrustação está relacionado com o aumento da taxa de recuperação. No módulo submerso com aeração, verificou-se que a aeração controla a incrustação nesta condição mais crítica. Para o módulo submerso pressurizado, o cisalhamento promovido pela recirculação do efluente também contribui para o controle da incrustação. Desta forma para valores inferiores de taxa de recuperação a configuração de módulo submerso apresenta maior controle da incrustação, principalmente para o módulo com aeração. Vale ressaltar ainda que para operação com maiores taxas de recuperação o módulo submerso sem aeração ficou sujeito a uma maior ocorrência de incrustação.

A Tabela 2 apresenta os resultados físico-químicos das amostras de alimentação e permeado para a avaliação da eficiência de remoção de lodo do POA/Fenton empregando módulos de MF pressurizados e submersos. Conforme esperado, em relação ao desempenho de remoção de compostos orgânicos em termos de DQO total, os dois sistemas apresentaram desempenho similares. A moderada diferença de remoção favorecendo o módulo pressurizado se deve a rejeição da membrana dinâmica formada durante a operação, devido à incrustação da membrana (principalmente, formação de torta) mais intensa no módulo pressurizado, o que contribui para o aumento da seletividade e, consequentemente, uma maior retenção dos contaminantes.

Tabela 2: Caracterização físico-química das amostras de alimentação e permeado na avaliação remoção de lodo do POA/Fenton empregando módulos de MF pressurizados e submersos.

Parâmetros	Unidade	Lixiviado Bruto	Permeado POA/Fenton/MF	
			Pressurizado	Submerso
DQO	mg L ⁻¹	2.848	667	802
Cor real	uC	1.691	417,9	510,6
Condutividade	mS cm ⁻¹	2,87	3,08	3,37
ST	g L ⁻¹	10,3	18,1	19,3
STF	g L ⁻¹	7,8	11,5	12,7
STV	g L ⁻¹	2,5	6,6	6,6

Desta forma, do ponto de vista de viabilidade técnica-econômica, o módulo submerso, mesmo tendo desempenho de remoção de contaminantes inferior ao módulo pressurizado, ainda se apresenta como a melhor configuração de módulo para a permeação de líquido reacional de POA, principalmente por proporcionar maior potencial de controle de incrustação.

Avaliação do desempenho do POA empregando reagente de Fenton conjugado com módulos submersos de microfiltração

Na Tabela 3 são apresentados os resultados de caracterização do lixiviado bruto e pós-POA/MF empregando reagente de Fenton conjugado com módulos submersos de microfiltração com aeração. Foram realizados 10 ensaios para uma maior confiabilidade dos resultados.

Tabela 3: Caracterização coletiva específica do lixiviado bruto e efluente pós-POA/MF.

Parâmetros físico-químicos	Unidade	Lixiviado bruto				Pós-POA/MF			
		Máx.	Mín.	Média	Desvio	Máx.	Mín.	Média	Desvio
Cor real	uH	568	420	467	60	128	92	110	12
Cor aparente	uH	748	519	590	94	149	107	129	14
DQO	mg L ⁻¹	2.428	2.220	2.354	94	588	471	548	41
DBO ₅	mg L ⁻¹	85	50	68	15	150	80	111	24
DBO/DQO	mg L ⁻¹	0,04	0,02	0,03	0,01	0,26	0,14	0,20	0,04
Carbono Total	mg L ⁻¹	2.392	2.217	2.304	71	384	344	367	17
Carbono Inorgânico	mg L ⁻¹	1.384	1.142	1.254	97	56	17	37	18
COT	mg L ⁻¹	1.090	1.008	1.052	34	352	315	331	16
pH	-	8,44	8,10	8,26	0,15	7,05	6,79	6,92	0,18
Nitrogênio Total	mg L ⁻¹	1.172	1.036	1.105	57	1.137	1.032	1.085	45
Nitrogênio Amoniacal	mg L ⁻¹	1.144	941	1.055	85	1.113	931	1.042	70
Cloretos	mg L ⁻¹	2.333	2.033	2.190	124	2.266	1.966	2.127	114
Alcalinidade	mg L ⁻¹	6.041	4.791	5.263	557	-	-	-	-
Fósforo	mg L ⁻¹	19,6	11,3	14,5	3,7	11,2	2,7	6,4	3,1
ST	g L ⁻¹	9,4	8,1	8,8	0,6	11,3	8,6	9,7	1,0
STF	g L ⁻¹	6,0	5,1	5,6	0,4	4,4	3,1	3,7	0,4
STV	g L ⁻¹	3,7	2,5	3,2	0,6	7,2	5,3	6,0	0,7
SST	mg L ⁻¹	26,5	17,0	22,4	4,1	4,7	3,0	3,9	0,7
SSF	mg L ⁻¹	4,5	1,5	3,1	1,4	2,0	0,3	0,9	0,6
SSV	mg L ⁻¹	22,0	15,5	19,3	2,8	4,0	2,0	3,0	0,8
Cádmio	mg L ⁻¹	0,524	< 0,005	0,466	0,264	0,289	< 0,005	0,158	0,135
Chumbo	mg L ⁻¹	< 0,02	< 0,02	< 0,02	-	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0
Cromo	mg L ⁻¹	0,49	< 0,05	0,23	0,23	0,32	< 0,05	0,16	0,13
Ferro	mg L ⁻¹	10,35	2,20	5,68	3,60	318,90	178,38	269,91	53,02
Zinco	mg L ⁻¹	0,14	0,07	0,10	0,03	0,33	0,02	0,14	0,11

Obs. ST-Sólidos Totais, STF-Sólidos Totais Fixos, STV-Sólidos Totais Voláteis, SST-Sólidos Suspensos Totais, SSF-Sólidos Suspensos Fixos, SSV-Sólidos Suspensos Voláteis

Em relação à eficácia do tratamento, para a remoção de cor e poluentes orgânicos, pode-se observar uma significativa remoção após o tratamento. Observou-se uma eficiência de remoção de cor e DQO de 76,4 e 76,7% respectivamente. A DQO persistente pode ser justificada pela formação de produtos intermediários estáveis que requerem um maior tempo para oxidação. Vale ressaltar que os valores de DQO foram corrigidos em função da interferência do peróxido residual e da concentração de ferro nos ensaios de DQO. Notou-se um aumento significativo da relação DBO/DQO, reforçando o citado na literatura de que o POA/Fenton atribui biodegradabilidade ao efluente. Este fato se sustenta na intensa oxidação química dos compostos não biodegradáveis resultando na formação de produtos intermediários biodegradáveis justificando o incremento de DBO observado.

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que o módulo submerso foi mais adequado para separação do lodo gerado no POA/Fenton quando comparado com módulo pressurizado, por apresentar menor formação de incrustação durante a operação dos mesmos sem comprometer a qualidade do efluente tratado. A aeração na base do módulo contribui significativamente para a redução da incrustação melhorando ainda mais o desempenho dos módulos submersos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais) pelos recursos financeiros e bolsas concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21th Edition. American Public Health Association, Washington, DC. 2005.
2. BACCHIN P.; AIMAR P.; FIELD R. W. Critical and sustainable fluxes: theory, experiments and applications. *Journal of Membrane Science*, 15, p.42-69, 2006.
3. HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NOBREGA, R. Escola Piloto em Engenharia Química: *Processos de Separação com Membranas*. Programa de Engenharia Química, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2003.
4. FIELD, R.W; WU, D; HOWELL, J.A.; GUPTA, B.B. Critical flux concept for microfiltration fouling. *J. Membr. Sci.*, v.100, p.259–272, 1995.
5. KURNIAWAN, T.A.; LO, W.; CHAN, G.Y.S. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, v.129, p.80-100, 2006.
6. MORAVIA, W.G. *Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas*. Tese de Doutorado em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 261p., 2010.