



Avaliação preliminar de processos combinados aplicado no tratamento de lixiviado de aterro sanitário (LAS)

Juliano R. A. Garcia¹, Tieli Cláudia Menzel¹, Sirlei Maria Hentges¹, Fernando H. Borba¹, Francine Bueno¹

¹ Universidade Federal da Fronteira Sul (francine.bueno@hotmail.com)

Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis (PPGATS)

Resumo

O trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de diferentes arranjos em processos combinados de Sedimentação/Coagulação-Floculação (SCF) e Eletro-coagulação (EC) no tratamento de LAS. Foram monitorados durante os processos a eficiência de remoção de compostos aromáticos (254 nm) e a cor (mg Pt-Co L⁻¹). O processo de SCF foi baseado na utilização do coagulante inorgânico sulfato de alumínio em concentração de 3000 mg L⁻¹, e o processo da EC nas condições experimentais de intensidade de corrente de 3 A, pH 7,8, e eletrodos híbridos compostos por placas de aço inoxidável e alumínio. A melhor configuração dos arranjos teve como base a integração com pré-tratamento via SCF e pós tratamento com EC (SCF→EC), obtendo uma eficiência de remoção de 81,5% dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e 97,9% da cor. Assim, a aplicação de processos combinados na remoção de poluentes encontrados em LAS pode auxiliar na minimização dos impactos ambientais ocasionados pelo descarte inadequado de LAS em corpos hídricos.

Palavras-chave: Lixiviado; Processos integrados de tratamento; Compostos recalcitrantes.

Área Temática: Águas Residuárias.

Preliminary evaluation of combined processes applied in the landfill treatment (LAS)

Abstract

The purpose of this study was to evaluate the application of different arrangements in combined processes of Sedimentation/Coagulation-Flocculation (SCF) and Electrocoagulation (EC) in the treatment of LAS. The efficiency of removal of aromatic compounds (254 nm) and color (mg Pt-Co L⁻¹) were monitored during the procedures. The SCF process was based on the use of the inorganic aluminum sulfate coagulant at a concentration of 3000 mg L⁻¹, and the EC process under the experimental conditions of current intensity of 3 A, pH 7.8, and hybrid electrodes composed of stainless steel plates and aluminum. The best configuration of arrangements was based on the integration with pre-treatment via SCF and post-treatment with SCF→EC, obtaining a removal efficiency of 81.5% of aromatic compounds (λ 254 nm) and 97.9% Cor. Therefore, the applying combined processes in the removal of pollutants found in LAS can help to minimize the environmental impacts caused by the inappropriate disposal of LAS in hydrous bodies.

Key words: Leachate; Integrated treatment processes; Recalcitrant compounds.

Theme Area: Wastewater.



1 Introdução

Tendo em vista o crescimento da população mundial concomitante ao desenvolvimento econômico, urbanização e revolução tecnológica, um dos principais problemas enfrentados na atualidade está associado à geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) em um curto período de tempo, o que pode ocasionar graves impactos ambientais (ZHONG et al., 2017). Quando expostos a compartimentos onde podem sofrer processos químicos e biológicos, os RSU têm a capacidade de apresentar uma elevada toxicidade, comprometendo a qualidade do solo ou até mesmo de corpos hídricos, uma vez que podem promover a mortalidade dos organismos vivos, tanto da fauna como da flora, acarretando também em problemas na saúde pública.

Para minimizar estes impactos, a forma adequada atualmente de disposição dos RSU consiste nos aterros sanitários, perfazendo nesta situação um dos métodos mais comuns para a disposição e tratamento dos RSU em centros urbanos, uma vez que permite a minimização de impactos ambientais por poluentes orgânicos e inorgânicos (ABRELPE, 2011). Muitas vezes, esses aterros são construídos na forma de células de armazenamentos, isolando o solo e permitindo a degradação, desintegração ou transformação dos resíduos sólidos em uma variedade de subprodutos (PAULI et al., 2017).

No entanto, essa prática apresenta a desvantagem da lixiviação, que ocorre a partir da degradação natural dos resíduos sólidos juntamente com a percolação de precipitação. Além disso, lixiviados de aterro sanitários (LAS) são caracterizados principalmente por uma grande variedade de compostos potencialmente poluidores, produzindo coloração escura e odor desagradável, como hidrocarbonetos aromáticos, ácidos, ésteres, álcoois, amidas, nitrogênio amoníaco e metais pesados (LABANOWSLI et al., 2010).

Os sistemas comumente utilizados para o tratamento de LAS são baseados em métodos físico-químicos e/ou biológicos. Os processos biológicos usualmente reconhecidos são os sistemas de lodo ativado e as lagoas de tratamento, que permitem tratar grandes volumes dos LAS, bem como apresentam maior viabilidade operacional. Contudo, estes processos são sensíveis às características do LAS, podendo inclusive resultar em substâncias recalcitrantes ou até mesmo com maior toxicidade que o composto inicial. Outro inconveniente é a geração de uma grande quantidade de biomassa gerada ao final do sistema, que resulta em dificuldades de disposição final do lodo (AUGUGLIARO et al., 1991).

Métodos físico-químico como coagulação/floculação, precipitação e sedimentação, são técnicas convencionais que vem sendo utilizadas no pré ou pós-tratamento de LAS. Tais processos são empregados de forma integrada, com a finalidade de remover substâncias suscetíveis à precipitação, como metais pesados, compostos orgânicos e partículas coloidais em solução no LAS (PEDROSO, 2012). Entretanto, estes processos não incrementam significativamente a biodegradabilidade destes resíduos, apenas os transferem de fase, embora permitam uma remoção parcial da coloração e da carga orgânica, promovendo apenas a clarificação destes LAS (TATSI et al., 2003).

Nessa perspectiva, novos processos vêm sendo investigados pela comunidade científica (PAULI et al., 2017; PAULI et al., 2018), dentro os quais podemos destacar o processo eletroquímico, denominado de Eletro-Coagulação (EC). Dentre suas vantagens é importante considerar que perfaz de um método simples e alternativo, eficiente e relativamente econômico (ESPINOZA-QUÍÑONES et al., 2009, MÓDENES et al., 2012). O processo da EC baseia-se na geração de íons, utilizando o princípio de ânodos solúveis (Fe/Al e aço inoxidável), compreendendo três fases sucessivas: (i) a formação de coágulos por meio da oxidação eletrolítica, (ii) a desestabilização dos contaminantes, bem como suspensão de partículas e quebra de emulsões e (iii) a agregação de fases e posterior formação de flocos. De acordo com Ilham et al. (2008), Fernandes et al. (2014) e Pauli et al. (2018), os processos de



EC são considerados eficazes quando integrados a outros métodos de tratamento, tais como, físico-químico e oxidação biológica, perfazendo uma alternativa de purificação, mineralização e degradação de compostos recalcitrantes e de baixa biodegradabilidade.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência dos processos de sedimentação/coagulação-floculação (SCF) e Eletro-Coagulação (EC) aplicados no tratamento de LAS. Inicialmente foram avaliados a eficiência individual dos processos SCF e EC, e posteriormente a combinação integrada destes no tratamento do LAS. Para avaliar a eficiência dos processos aplicados no LAS, foram determinados a % de redução dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e da Cor (mg Pt-Co L⁻¹).

2 Materiais e Métodos

2.1 Coleta, Preservação e Caracterização do LAS

O lixiviado de aterro sanitário foi fornecido pela Central de tratamento de resíduos (CTRs), localizado na zona rural do município de Giruá, região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A CTR's consiste na recepção e disposição dos resíduos sólidos urbanos, previamente triados, de diversos municípios circunvizinhos, sendo que apenas o material orgânico é destinado para as células de disposição. O chorume, oriundo do processo de decomposição do material orgânico, é percolado e lixiviado até os drenos que o conduzem para um sistema de tratamento de efluentes alternativo baseado na ultrafiltração (UF) e osmose reversa (OR). Para este estudo foi coletado um volume de 10 L do LAS concentrado, oriundo do remanecente dos processos UF e OR.

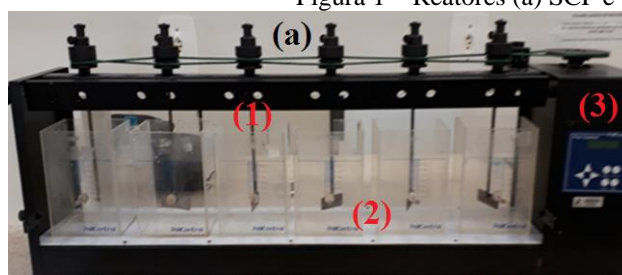
O pH foi medido utilizando um pH metro digital (Tecnal, TEC-2). A cor foi determinada pelo método Platina-Cobalto (mg Pt-Co L⁻¹). Para identificar os compostos aromáticos em λ 254 nm foi utilizado um espectrofotômetro UV-Vis (Shimadzu, modelo UV-1610PC). As amostras brutas e tratadas foram caracterizadas, armazenadas e preservadas de acordo com as metodologias descritas no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

2.2 Reatores de SCF e EC

Para os experimentos de SCF foi utilizado um módulo experimental baseado na utilização de cone inhoff (1L) e de um equipamento Jar-Test (Poli Control, FlocControl IV), conforme apresentado na Figura 1a. Os experimentos do processo EC foram realizados em um reator de escala laboratorial, operando em sistema fechado e batelada. O módulo foi constituído a partir de um béquer de borosilicato com volume de 1000 mL, na parte interna foram inseridos um eletrodo (cátodo e ânodo), composto por 2 placas de aço inoxidável e 2 placas de alumínio, com dimensões de 11,9 x 5,9 x 0,2 cm, instalados em paralelo com distância entre placas de 1,5 cm e área efetiva entre placas de 152,22 cm². Os eletrodos foram arrançados de maneira bipolar em terminais positivos e negativos, conectados em uma fonte de corrente contínua (BK PRECISION / 1687B (20 V/10 A), conforme apresentado na Figura 1b.



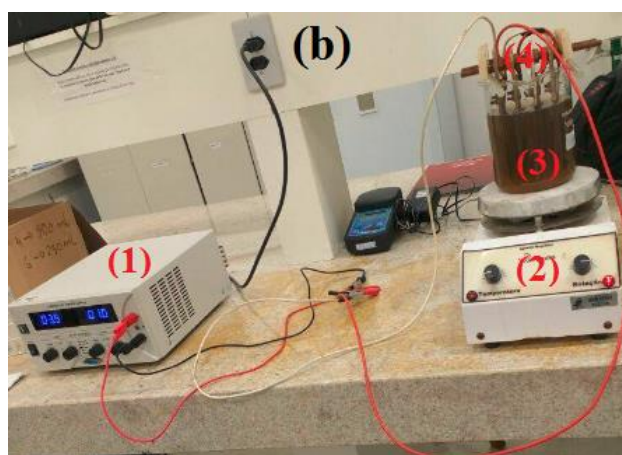
Figura 1 – Reatores (a) SCF e (b) EC



Legenda

(a). Reator SCF

1. Agitador mecânico
2. Jarro (1L)
3. Equipamento Jar test



Legenda

(b). Reator EC

1. Fonte de corrente contínua
2. Agitador Magnético
3. Becker de borossilicato
4. Eletrodos

Os reatores dos processos SCF e EC utilizados no tratamento do LAS foram instalados e operados no Laboratório de águas e efluentes, localizado na Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *campus* Cerro Largo/RS.

2.3 Procedimentos Experimentais

O processo da SCF foi desenvolvido criteriosamente nas seguintes etapas: i) inicialmente o pH do LAS foi ajustado para 5; ii) posteriormente 1 L da amostra acidificada foi submetida a sedimentação em cone inhoff por um período de 60 min; iii) na sequência o sobrenadante (0.8 L) foi submetido ao teste de jarro (*Jar test*), e após o processo de Coagulação-Floculação as amostras do LAS foram submetidas para caracterização dos compostos aromáticos (λ 254 nm), pH da solução e Cor (mg Pt-Co L⁻¹). As condições experimentais do processo de SCF foram: concentração do coagulante sulfato de alumínio de 3000 mg L⁻¹ (Merck. Al₂(SO₄)₃18H₂O. 666,42 g/mol), tempo de mistura rápida (TMR) de 8 min. em gradiente de velocidade rápido (GVR) de 300 RPM, subsequente de um tempo de mistura lenta (TML) de 40 min em um gradiente de velocidade lento (GVL) de 40 RPM, perfazendo com isso o processo da físico químico da coagulação-floculação. Estas condições experimentais do processo SCF foram as mais eficientes na remoção de compostos aromáticos (λ 254 nm) e cor aplicadas em LAS, reportadas em estudo anterior de Silva (2016) e Deuschle (2016).

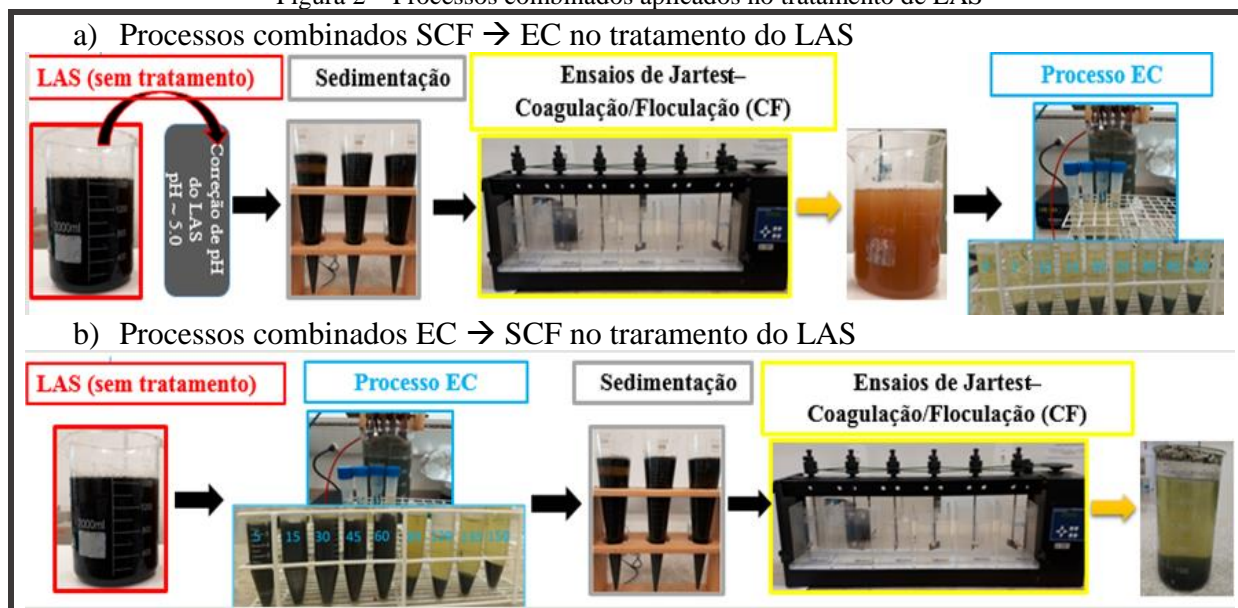
Os experimentos da EC foram conduzidos inicialmente com a adição no reator de um volume de 800 mL do LAS em pH bruto (7,8). Posteriormente o eletrodo (cátodo e ânodo) foi imerso na solução, em seguida foi aplicada uma intensidade de corrente contínua de 3 A. Em intervalos de tempos de eletrólise de 0 a 150 min foi retirado uma alíquota de 7 mL da amostra tratada para caracterização dos compostos aromáticos (λ 254 nm), pH da solução e Cor (mg Pt-Co L⁻¹). A cada 15 min de eletrólise foi realizado a inversão de polaridade dos eletrodos, com efetivo para minimizar a passivação das placas e a redução da eficiência do



processo EC. As condições experimentais do processo de EC utilizadas neste trabalho foram descritas em Pauli et al. (2017) e Pauli et al. (2018) como ótimas para a remoção de poluentes em LAS pelo processo de EC.

Foram avaliados duas configurações de processos combinados aplicados no tratamento do LAS. A primeira foi baseada na utilização do processo SCF como pré-tratamento seguido de um pós-tratamento de EC (ver Figura 2a). A segunda configuração foi a aplicação do processo EC como pré-tratamento seguido do processo SCF como pós-tratamento (ver Figura 2b).

Figura 2 – Processos combinados aplicados no tratamento de LAS



Todas as amostras coletadas nos intervalos de tempo dos respectivos processos aplicados no tratamento de LAS foram previamente centrifugadas (CELM, LS-3 Plus) a condições de 3000 rpm pelo tempo de 1 min, posteriormente foram realizadas as determinações analíticas dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e Cor (mg Pt-Co L^{-1}).

3 Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do LAS

Seibert et al. (2017) reportam que o LAS concentrado apresenta características recalcitrantes, compostos tóxicos e elevadas cargas orgânicas, expressas por altos valores de DBO₅, DQO, compostos nitrogenados, assim como uma gama de compostos inorgânicos coloidais. Valores elevados de absorvância em λ (254 nm) tem relação direta com os compostos aromáticos de cadeia simples e conjugadas. A caracterização do LAS apresentou um pH levemente alcalino (7,8), compostos aromáticos (λ 254 nm) com uma absorvância inicial de 1,89 e uma concentração elevada da Cor de 18089 mg Pt-Co L^{-1} .

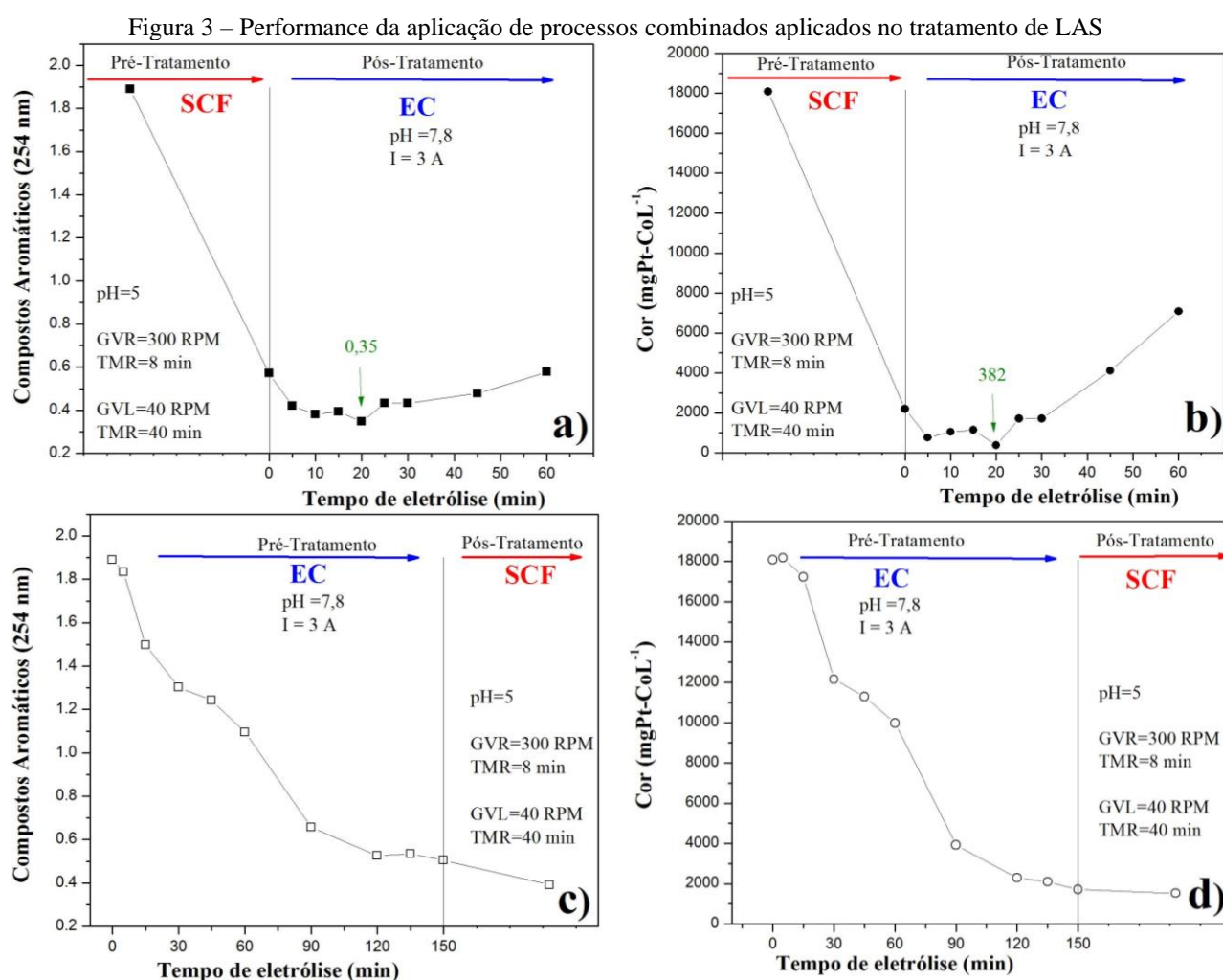
2.4 Performance dos processo combinados de SCF e EC

Baseado nas condições experimentais descritas no seção 2.3 foram realizados testes preliminares, avaliando a eficiência dos processos SCF e EC, assim como a combinação integrada destes, na remoção dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e cor (mg Pt-Co L^{-1}) no



tratamento do LAS, conforme apresentado na Figura 3.

Considerando como pré-tratamento os processos da SCF e EC foi possível verificar uma maior eficiência do processo SCF na remoção dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e da concentração residual da Cor, alcançando valores próximos a 0,6 ua (Unidade de Absorvância) e 2000 mg Pt-Co L⁻¹, respectivamente, em tempos de tratamento de 48 min (ver Fig. 3). No entanto, o processo da EC quando aplicado como pós-tratamento (polimento final) apresentou uma eficiência significativa para o sistema de tratamento do LAS, perfazendo em apenas 20 min de eletrólise uma excelente performance, atingindo valores de 0,35 ua e 382 mg Pt-Co L⁻¹, dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e cor, respectivamente (ver Fig. 3 ab). Tendo em vista os arranjos testados dos processo combinados (SCF→EC e EC→SCF), podemos destacar que a melhor alternativa para tratamento do LAS é a aplicação de um pré-tratamento baseado em um processo físico-químico (SCF) seguido de um polimento final por um processo eletroquímico (EC).



Para o pós-tratamento com EC é possível verificar um aumento em tempos de eletrólises superiores a 20 min (ver Fig. 3 ab), podendo estar associado com a dissolução dos íons metálicos provenientes da composição dos eletrodos (aço inoxidável e Al), assim como pela desestabilização e rompimento do flocos. Na Tabela 1, estão apresentados as eficiências dos processos SFC e EC em função da remoção dos compostos aromáticos (λ 254 nm) e cor (mg Pt-Co L⁻¹) no tratamento do LAS.



Tabela 1 - Avaliação da eficiência de processos individuais e combinados aplicados no tratamento de LAS.

LAS	pH da solução	Compostos Aromáticos		Cor		t _{trat.} (min)
		(λ 254nm)	% Remoção	(mg Pt-Co L ⁻¹)	% Remoção	
Bruto	7,84	1,89	-	18089	-	0
SCF	5,53	0,57	69,8	2201	87,8	48
EC	8,80	0,50	73,5	1722	90,5	150
SCF→EC	8,80	0,35	81,5	382	97,9	68
EC→SCF	5,53	0,39	79,4	1531	91,5	198

A partir da análise da Tabela 1, foi possível verificar a importância na aplicação da ordem cronológica na configuração do arranjo dos processos combinados, uma vez que os mesmos processos em ordens diferentes apresentaram uma significativa diferença na eficiência da remoção dos parâmetros analisados. Desta forma, podemos afirmar que a configuração SCF→EC mostrou uma melhor eficiência em relação ao tempo e a remoção, dadas as condições experimentais deste estudo.

4 Conclusão

Por fim, é importante reconhecer a complexidade do LAS, tendo em vista a heterogeneidade das substâncias, por sua vez recalcitrantes ou até mesmos poluentes orgânicos e inorgânicos. Nesse sentido, os métodos convencionais e individuais de tratamento não são capazes de atender satisfatoriamente a necessidade da remoção ou degradação dos compostos presentes no LAS, diferente da aplicação de processos integrados, que vêm se mostrando uma alternativa eficaz e pertinente para aplicação em escala real, auxiliando na minimização dos impactos ambientais decorrentes do descarte de LAS em corpos hídricos.

Referências

APHA (American Public Health Association); AWWA (American Water Works Association); WEF (Water Environment Federation). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª Ed. Washington – DC: APHA, 2005.

Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. v. 1. São Paulo: ABRELPE, 2011, 186 p.

AUGUGLIARO, V.; PALMISANO, L.; SCHIAVELLO, M.; SCLAFANI, A. et al. "Photocatalytic degradation of nitrophenols in aqueous titanium dioxide dispersion". **Appl. Catal.** v. 69, n. 1, 1991, pg. 233-340.

DEUSCHLE, J. **Otimização e comparação do coagulante Sulfato de Alumínio com coagulantes orgânicos para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário bruto**. 2016. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2016.



ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; FORNARI, M. M. T.; MÓDENES, A. N.; PALÁCIO, S. M. et al. “*Electrocoagulation efficiency of the tannery effluent treatment using aluminium electrodes*”. **Water Science & Technology—WST**, v. 60, n. 8, 2009, pg. 2173-2185.

FERNANDES, A.; SPRANGER, P.; FONSECA, A. D.; PACHECO, M. J. et al. “*Effect of electrochemical treatments on the biodegradability of sanitary landfill leachates*”. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 144, Janeiro de 2014, pg. 514-520.

ILHAM, F.; KURT, U.; APAYDIM, O.; GONULLU, M. T. “*Treatment of leachate by electrocoagulation using aluminum and iron electrodes*”. **Journal of Hazardous Materials**, v. 154, Junho de 2008, pg. 381–389.

LABANOWSKI, L.; PALLIER, V.; FEUILLADE-CATHALIFAUD, G. “*Study of organic matter during coagulation and electrocoagulation processes: Application to a stabilized landfill leachate*”. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, Julho de 2010, pg. 166-172.

MÓDENES, A. N.; ESPINOZA-QUIÑONES, F.R.; BORBA, F. H.; MANENTI, D. R. “*Performance evaluation of an integrated photo-Fenton – Electrocoagulation process applied to pollutant removal from tannery effluent in batch system*”. **Chemical Engineering Journal**, v. 179, Julho de 2012, pg. 1-9.

PAULI, A. R.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; DALL’OGLIO, I. C.; TRIGUEROS, D. E. G. et al. “*New insights on abatement of organic matter and reduction of toxicity from landfill leachate treated by the electrocoagulation process*”. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 2, Dezembro de 2017, pg. 5448-5459.

PAULI, A. R.; ESPINOZA-QUIÑONES, F. R.; TRIGUEROS, A. E. G.; MÓDENES, A. N. et al. “*Integrated two-phase purification procedure for abatement of pollutants from sanitary landfill leachates*”. **Chemical Engineering Journal**, v. 334, Fevereiro de 2018, pg. 19-29.

PEDROSO, K. **Avaliação do tratamento do lixiviado do aterro sanitário de Maringá, Paraná, por processo de coagulação/floculação e ozonização**. Dissertação Mestrado em Engenharia Urbana. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

SEIBERT, D.; DIEL, T.; WELTER, J. B.; SOUZA, A. L. et al. “*Performance of photo-Fenton process mediated by Fe (III)-carboxylate complexes applied to degradation of landfill leachate*”. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 5, n. 5, Outubro de 2017, pg. 4462-4470.

SILVA, C. B. **Processo de coagulação/floculação com coagulantes naturais para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário**. 2016. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental. Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2016.

TATSI, A. A.; ZOUBOULIS, A. I.; MATIS, K. A.; SAMARAS, P. “*Coagulation-flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates*”. **Chemosphere**, v. 53, n. 7, Novembro de 2003, pg.737-744.

ZHONG, H.; TIAN, Y.; YANG, Q.; MARK, L. B. et al. “*Degradation of landfill leachate compounds by persulfate for groundwater remediation*”. **Chemical Engineering Journal**, v. 307, n. 1, Janeiro de 2017, pg. 399–407.