



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## ESTUDO DA TOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO TRATADO PELO PROCESSO FOTO-ELETRO FENTON

**Daiana Seibert** - daiaseibert@hotmail.com. Engenheira ambiental e sanitária. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá.

**Francine Bueno** – francine.bueno@hotmail.com. Engenheira ambiental e sanitária. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis (PPGATS) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo/RS.

**Carmine Mallmann Haas** - carminehaas25@gmail.com. Engenheira ambiental e sanitária pela Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo/RS.

**Jonas Jean Inticher** - jonas.inticher@hotmail.com. Engenheiro ambiental e sanitário pela Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo/RS.

**Fernando Henrique Borba** - fernando.borba@uffs.edu.br. Doutor em Engenharia Química. Programa de Pós-Graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis (PPGATS) pela Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Cerro Largo/RS.

**Resumo:** *Processos de foto-eleto oxidação, tais como o processo foto-eleto Fenton (FEF) vem se mostrando promissores para o tratamento de efluentes que apresentam características orgânicas de difícil biodegradabilidade. Este trabalho buscou investigar condições operacionais adequadas para a aplicação do processo FEF possibilitando a geração de radicais hidroxila suficientes para degradar os componentes orgânicos presentes em um lixiviado de aterro sanitário (LAS) coletado na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Além disto, buscou-se avaliar a redução de toxicidade de amostras bruta e tratada pelas condições operacionais mais adequadas aqui encontradas. Como resultado, obteve-se que nas condições operacionais estudadas, onde variou-se a concentração de ferro adicionada à solução, mantendo-se constante a faixa de pH (3,5-4,5); intensidade de corrente (2,3A), concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (9000 mg L<sup>-1</sup>) e injeção de O<sub>2</sub>; 60 mg Fe L<sup>-1</sup> foi a concentração encontrada como mais indicada, sendo possível reduzir 93% de remoção de cor e 90% de remoção de Abs 254 nm (compostos aromáticos), com conseqüente redução da toxicidade da amostra de LAS tratada pela condição acima mencionada.*

**Palavras-chave:** *Lixiviado de aterro sanitário; Processo Foto-Eleto Fenton; Condições adequadas; Toxicidade.*

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

## TOXICITY STUDY OF A LANDFILL LEACHATE TREATED BY PHOTO-ELECTRO FENTON PROCESS

**Abstract:** Photo-electro oxidation process, such as photo-electro Fenton (PEF) are highly interesting for the treatment of wastewater that presents non biodegradable organic compounds. This work aimed to investigate the most suitable operational conditions of PEF process in order to generate enough hydroxyl radicals to degrade the organic load of a landfill leachate collected in the northwest of the Rio Grande do Sul State. Besides that, the toxicity reduction was also performed, employing the most suitable operation conditions before found. As a result, the studied operational conditions, where the iron concentration was changed and the pH range (3,5-4,5) as well as current intensity (2,3A),  $H_2O_2$  concentration ( $9000\text{ mg L}^{-1}$ ) and  $O_2$  injection; were kept constant;  $60\text{ mg Fe L}^{-1}$  was the most suitable iron concentration found, being possible to reduce 93% of the landfill leachate color and 90% of 254 nm absorbance (aromatic compounds), with consequent toxicity reduction of the landfill leachate PEF treated sample.

**Keywords:** Landfill leachate; Photo-electro Fenton Process; Suitable conditions; Toxicity.

### 1. INTRODUÇÃO

Mudanças de comportamento frente a atual sociedade, aliado ao crescimento populacional tem impulsionado a geração de resíduos sólidos urbanos (Ghosh et al., 2017). Atualmente os resíduos sólidos gerados no Brasil devem ser encaminhados, dispostos e tratados em aterros sanitário, conforme Lei 12.305/2010. Se por um lado os aterros sanitários são considerados formas eficientes para disposição e tratamento destes resíduos, por outro lado há geração de subprodutos líquidos, denominados lixiviado de aterro sanitário (LAS) que apresentam composição variada, visto que são originados da percolação de águas pluviais e lixiviação do chorume – produto da degradação da massa de resíduos aterrados (Christensen et al., 2001; Naveen et al., 2017; Renou et al., 2008). Os LAS são caracterizados por apresentarem características tóxicas e representam potenciais poluidores ao solo e mananciais de água, o que vem a comprometer a saúde pública e segurança dos ecossistemas (da Costa et al., 2018; de Pauli et al., 2017).

Nas estações de tratamento de LAS, comumente são aplicados processos de tratamento biológico, devido a sua facilidade de operação e baixo custo. No entanto, LAS apresentam em sua grande variedade de compostos orgânicos, substâncias recalcitrantes aos processos de oxidação biológica, o que limita a eficiência do processo, especialmente quando se trata de LAS maduros, cuja fração de biodegradabilidade ( $DBO_5/DQO < 0,3$ ) é baixa (Baiju et al., 2018; Kurniawan et al., 2006; Renou et al., 2008).

Como alternativa para o tratamento de LAS, tem-se a aplicação de processos de eletro-oxidação avançada (PEOAs), visto que estes possuem a capacidade de oxidar os compostos recalcitrantes, através da geração de radicais hidroxilas, que por sua vez podem causar a mineralização da matéria orgânica presente neste tipo de efluente (Brillas et al., 2009; Joseph J. Pignatello et al., 2006). O processo foto-eletro Fenton (FEF), vem destacando-se entre a comunidade científica. Neste processo a geração de radicais hidroxila baseia-se na

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

reação Fenton, com auxílio de fótons para aumentar a concentração de radicais eletro-gerados, e os reagentes Fenton podem ser adicionados externamente ou serem fornecidos através de eletrodos de sacrifício de ferro fundido, além da adição de O<sub>2</sub> para geração de radicais *in situ* (Moreira et al., 2015; Müller et al., 2015; Panizza and Cerisola, 2009).

Sendo assim, este trabalho objetivou estudar o tratamento de LAS através do processo FEF, avaliando a degradação deste efluente através da redução de cor, compostos aromáticos (Abs 254 nm), bem como avaliar a redução da toxicidade das amostras tratadas.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Amostras, solventes e reagentes

As amostras de LAS foram coletadas em uma Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos – CRVR em Giruá – RS. Nesta Central de Tratamentos, ocorre a triagem do material recebido, sendo que apenas material orgânico é disposto nas células de tratamento de resíduos. As células por sua vez possuem sistema de impermeabilização de base e talude, permitindo a coleta e tratamento de efluentes líquidos e gasosos. As amostras de LAS foram coletadas em um tanque de equalização localizado antes do início do processo de tratamento do LAS na própria Central. Estas amostras foram coletadas e armazenadas conforme Standard Methods (CLESCERI, L.S. et al., 2005).

Os reagentes e solventes químicos utilizados nas reações apresentam pureza de grau analítico, sendo: ácido sulfúrico (1,5 M) empregado para correção do pH da solução, sempre que necessário. Peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (30% v/v), e sulfato de Fe(II) hepta-hidratado foram utilizados como reagentes Fenton.

Os testes de toxicidade foram realizados com o microcrustáceo *Artemia salina* e seguiu-se a metodologia descrita por (MEYER et al., 1982).

### 2.2. Determinações analíticas

O pH da solução foi aferido utilizando um pHmetro digital (HANNA, HI, 3221). A condutividade foi determinada utilizando um condutímetro. Os sólidos totais (ST), suspensos (SS), voláteis (SV) e fixos (SF) foram determinados utilizando métodos gravimétricos (CLESCERI, L.S. et al., 2005). A absorbância nos comprimentos de onda relativos aos compostos aromáticos (254 nm) foi avaliada utilizando um espectrofotômetro UV-Vis. A cor foi determinada utilizando o método Platina-Cobalto (CLESCERI, L.S. et al., 2005). A turbidez foi determinada utilizando um turbidímetro e expressa em NTU. A análise de carbono foi realizada utilizando um analisador TOC (Shimadzu, TOC-VCPH). A DBO<sub>5</sub> foi determinada de acordo com o protocolo OECD-301F utilizando um sistema OxiTop (respirometria manométrica), e a DQO foi determinada pelo método colorimétrico de refluxo fechado, ambas conforme descrito no Standard Methods (CLESCERI, L.S. et al., 2005).

### 2.3. Foto reator e Procedimento experimental

Para realização dos experimentos de FEF foi utilizado um reator em escala de bancada, operado em sistema batelada. O reator consistiu em béquer de borossilicato de volume de 1000 mL (h = 14,3 cm e R = 12 cm), eletrodos de ferro fundido, compostos por 4 placas em dimensões de 11,9 x 5,9 x 0,2 cm, instalados em paralelo em distância entre placas de 1,5 cm e área efetiva entre placas de 152,22 cm<sup>2</sup>. Os eletrodos foram arrançados de maneira bipolar em terminais positivos (ânodo) e negativos (cátodo) conectados em uma fonte de corrente contínua (BK PRECISION / 1687B (20 V/10

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



A). Como fonte de radiação UVC, duas lâmpadas de mercúrio (Philips 13 W) foram empregadas. O<sub>2</sub> foi fornecido à solução para geração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> *in situ*.

Após ajuste do pH (3,5-4,5), um volume de 800 mL de LAS foi adicionado ao reator, onde simultaneamente as alíquotas pré-estabelecidas de reagentes Fenton foram adicionados e as lâmpadas de mercúrio foram acionadas, bem como acionamento da fonte de corrente contínua. Após cerca de 30 minutos de eletrólise foi realizado a inversão de polaridade dos eletrodos, com o objetivo de evitar a passivação das placas e a redução da eficiência do processo FEF. O pH da solução foi monitorado e sempre que necessário ajustado mantendo-se constante ao longo das reações. Em tempos pré-estabelecidos alíquotas foram retiradas e submetidas à centrifugação (3000 rpm/120 s), a fim de aferir a redução de cor e Abs 254 nm.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Caracterização do LAS

A tabela 1 apresenta a caracterização do LAS bruto.

Tabela 1 – Caracterização do LAS bruto.

Parâmetro	Valor	Unidade
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO <sub>5</sub> )	451	(mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	2441	(mg O <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )
DBO <sub>5</sub> /DQO	0,18	
Carbono Total (CT)	2225	(mg C L <sup>-1</sup> )
Condutividade	21	(μS cm <sup>-1</sup> )
pH	7,5	(Escala Sörensen)
Turbidez	81	(NTU)
Absorbância 254 nm	1.672	(nm)
Temperatura	23,1	(°C)

A elevada condutividade e pH alcalino do LAS representam a presença de material inorgânico em solução (Naveen et al., 2017). Substâncias húmicas representam a maioria dos compostos recalcitrantes presentes em LAS (Jurczyk and Koc-Jurczyk, 2017), sendo estas responsáveis pela cor escura (preto/marrom) característica de LAS. Isto pode ser evidenciado pela elevada presença de cor e também elevado valor de absorbância em 254 nm – referente a compostos aromáticos simples. Valores de DBO<sub>5</sub> e DQO evidenciam a grande presença de material orgânico, que apresenta-se de forma pouco ou não biodegradável (DBO<sub>5</sub>/DQO=0,18) (Kurniawan et al., 2006; Renou et al., 2008), onde apenas LAS com DBO<sub>5</sub>/DQO>0,6 apresentam características de biodegradabilidade. Sendo assim, técnicas de tratamento físico-químicas apresentam-se como as mais indicadas para o tratamento de um efluente com as características acima descritas. Destacando-se a importância do tratamento destes efluentes visto que a contaminação do solo e mananciais de água devido ao vazamento/tratamento inadequado pode acarretar sérios problemas de abastecimento e saúde pública, além de prejudicar os ecossistemas envolvidos.

#### 3.2. Tratamento de LAS pelo processo FEF

Corridas experimentais foram realizadas com o intuito de encontrar a concentração de íons de ferro mais adequada ao processo FEF. A Figura 1 mostra as cinéticas onde diferentes concentrações de ferro foram adicionadas a solução em que as condições de pH (3,5-4,5); intensidade

Realização



Correalização



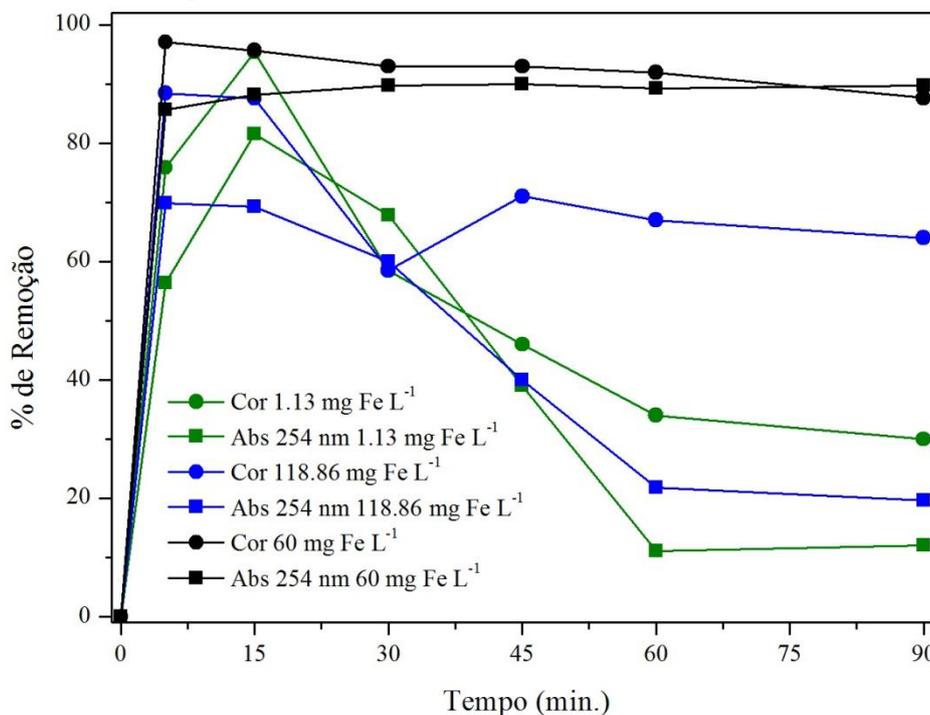
Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



de corrente (2,3A) e concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (9000  $\text{mg L}^{-1}$ ), bem como injeção de  $\text{O}_2$ , mantiveram-se constantes, e a degradação do LAS foi avaliada quanto a remoção de cor e Abs 254 nm.

Figura 1 – Perfis de remoção de cor e Abs 254 nm em função de diferentes concentrações de ferro (1,13; 60; 118,86  $\text{mg Fe L}^{-1}$ ).



Conforme apresentado na Figura 1, a remoção de cor e compostos aromáticos (Abs 254 nm) se dá nos primeiros momentos da reação. Sendo que a concentração de ferro de 60  $\text{mg L}^{-1}$  apresentou os melhores índices de remoção. Baiju et al., (2018) empregaram técnicas de eletro-Fenton para o tratamento de um LAS, e encontraram que a melhor concentração de ferro foi de 50  $\text{mg Fe L}^{-1}$ , resultado próximo ao encontrado neste trabalho.

Concentrações muito elevadas atuaram como sequestradores de radicais hidroxila (Atmaca, 2009), o que por sua vez diminui a eficiência de oxidação, visto que os radicais não estão atacando de forma precisa a matéria orgânica que deveria ser oxidada. Por outro lado, dosagens muito pequenas de ferro, também não se mostraram eficientes, provavelmente porque mesmo com o desprendimento do ferro a partir dos eletrodos, esta quantidade não foi suficiente para produção de radicais hidroxila (Oturan et al., 2001), havendo então a permanência de parte dos compostos presentes no LAS bruto.

Em ambas cinéticas uma tendência de redução da eficiência foi observada. Isso pode estar associado à formação de partículas suspensas, devido ao processo de eletro-coagulação que acontece simultaneamente ao processo FEF. Realizando experimentos de eletro-Fenton para o tratamento de LAS, Lin and Chang, (2000) observaram que após o consumo total de  $\text{H}_2\text{O}_2$  partículas suspensas começaram a aparecer, o que foi então, associado ao processo de eletro-coagulação, sendo este o responsável pela piora nos resultados de remoção de DQO e cor.

Desta forma, as condições operacionais mais adequadas para o processo FEF estudadas neste trabalho foram: pH (3,5-4,5); intensidade de corrente (2,3A), concentração de  $\text{H}_2\text{O}_2$  (9000  $\text{mg L}^{-1}$ ), 60  $\text{mg Fe L}^{-1}$  com injeção de  $\text{O}_2$ . Nestas condições o tempo de 45 minutos de eletrólise foi selecionado como mais adequado, proporcionando 93% de remoção de cor e 90% de remoção de Abs 254 nm.



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

### 3.3. Ensaio de toxicidade

Testes de toxicidade foram realizados com amostras de LAS bruto, bem como amostra tratada pelas condições operacionais acima selecionadas como mais adequadas. A Tabela 2 apresenta os valores de mortalidade em seis diluições diferentes para as amostras em questão.

Tabela 2 – Mortalidade do microcrustáceo *Artemia salina* em seis diluições diferentes para amostra de LAS bruto e LAS tratado pelo processo FEF.

Amostras	Mortalidade em seis diluições diferentes							Intervalo de confiança
	1%	3%	10%	30%	50%	100%	CL <sub>50</sub> %	
LAS Bruto	07/ 20	08/ 20	08/ 20	20/ 20	20/ 20	20/ 20	7,0 0	2,82 -28,94
FEF	04/ 20	04/ 20	02/ 20	10/ 20	20/ 20	20/ 20	20, 00	16,3 7-37,64

*Artemia salina* comumente é empregada para avaliar a toxicidade de efluentes como LAS devido a sua capacidade de tolerar elevadas concentrações de sal (Svensson et al., 2005). Diluições do LAS bruto acima de 30% ocasionaram a morte de 100% dos organismos testados. Já para as amostras tratadas, uma diluição de 50% foi necessária para morte de 100% dos organismos. O que representou uma dose letal CL<sub>50</sub> de 20,00 em comparação a CL<sub>50</sub> de 7,0 do LAS bruto, havendo assim redução da toxicidade das amostras de LAS tratadas pelo processo FEF.

Sendo assim, o processo FEF pode ser empregado como ferramenta para reduzir a toxicidade e melhorar as condições de biodegradabilidade do LAS, visto que toxicidade e biodegradabilidade podem estar relacionadas (Oller et al., 2011). Contudo, o estudo de técnicas de tratamento secundárias para uma possível integração de processos mostra-se adequada.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento populacional e o desenvolvimento econômico vem incentivando a produção de resíduos sólidos, que por sua vez devem ser dispostos em aterros sanitários, conforme legislação brasileira vigente. A geração de LAS em Centrais de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos vem gerando preocupação quanto ao seu tratamento adequado, visto que este efluente se apresenta como potencial poluidor de solo e mananciais de água. LAS costumam apresentar composições muito variadas, o que dificulta seu tratamento, que comumente é realizado por processos biológicos que não se mostram totalmente eficientes devido à permanência de substâncias recalcitrantes. Como alternativa, processos de eletro oxidação avançada se mostram promissores visto que nestes processos há geração de radicais hidroxila, que são capazes de oxidar componentes orgânicos recalcitrantes. O processo FEF vem destacando-se devido a possibilidade de geração de reagentes e radicais *in situ*, apresentando elevadas remoções de compostos orgânicos, como os presentes em LAS. Neste estudo onde o processo FEF foi aplicado ao tratamento de LAS, foi possível identificar condições operacionais adequadas para a geração suficiente de radicais, o que possibilitou a redução da toxicidade das amostras tratadas. Com o reator em escala laboratorial operando em batelada durante 45 minutos nas condições: pH (3,5-4,5); intensidade de corrente (2,3A), concentração de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (9000 mg L<sup>-1</sup>), 60 mg Fe L<sup>-1</sup> com injeção de O<sub>2</sub> foi possível a redução de 93% de remoção de

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

cor e 90% de remoção de Abs 254 nm, com consequente redução da toxicidade de CL<sub>50</sub> 7,0 (LAS bruto) para CL<sub>50</sub> 20,0 (LAS tratado por FEF).

## 5. REFERÊNCIAS

- Atmaca, E., 2009. Treatment of landfill leachate by using electro-Fenton method. *J. Hazard. Mater.* 163, 109–114. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.067>
- Baiju, A., Gandhimathi, R., Ramesh, S.T., Nidheesh, P.V., 2018. Combined heterogeneous Electro-Fenton and biological process for the treatment of stabilized landfill leachate. *J. Environ. Manage.* 210, 328–337. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.019>
- Brillas, E., Sirés, I., Oturan, M.A., 2009. Electro-Fenton Process and Related Electrochemical Technologies Based on Fenton's Reaction Chemistry. *Chem. Rev.* 109, 6570–6631. <https://doi.org/10.1021/cr900136g>
- Christensen, T.H., Kjeldsen, P., Bjerg, P.L., Jensen, D.L., Christensen, J.B., Baun, A., Albrechten, H.-J., Heron, G., 2001. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *Applied Geochemistry* 16, 659–718.
- CLESCERI, L.S., GREENBERG, A.E., EATON, A.D., American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF), 2005. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21st ed. Washington, DC.
- da Costa, F.M., Daflon, S.D.A., Bila, D.M., da Fonseca, F.V., Campos, J.C., 2018. Evaluation of the biodegradability and toxicity of landfill leachates after pretreatment using advanced oxidative processes. *Waste Manag.* <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.02.030>
- de Pauli, A.R., Espinoza-Quiñones, F.R., Dall'Oglio, I.C., Trigueros, D.E.G., Módenes, A.N., Ribeiro, C., Borba, F.H., Kroumov, A.D., 2017. New insights on abatement of organic matter and reduction of toxicity from landfill leachate treated by the electrocoagulation process. *J. Environ. Chem. Eng.* 5, 5448–5459. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.10.017>
- Ghosh, P., Thakur, I.S., Kaushik, A., 2017. Bioassays for toxicological risk assessment of landfill leachate: A review. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 141, 259–270. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.023>
- Joseph J. Pignatello, Esther Oliveros, Allison MacKay, 2006. *Advanced Oxidation Processes for Organic Contaminant Destruction Based on the Fenton Reaction and Related Chemistry*. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 36:1, 1–84.
- Jurczyk, Ł., Koc-Jurczyk, J., 2017. Quantitative dynamics of ammonia-oxidizers during biological stabilization of municipal landfill leachate pretreated by Fenton's reagent at neutral pH. *Waste Manag.* 63, 310–326. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.01.028>
- Kurniawan, T., Lo, W., Chan, G., 2006. Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *J. Hazard. Mater.* 129, 80–100. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.010>
- Lin, S.H., Chang, C.C., 2000. Treatment of landfill leachate by combined electro-Fenton oxidation and sequencing batch reactor method. *Water Res.* 34, 4243–4249.
- MEYER, B.N., FERRIGNI, N.R., PUTNAM, J.E., JACOBSEN, L.B., NICHOLS, D.E., MCLAUGHLIN, J.L., 1982. Brine Shrimp: A convenient general bioassay for active plant constituents. *Planta Médica* 45, 35–36.
- Moreira, F.C., Soler, J., Fonseca, A., Saraiva, I., Boaventura, R.A.R., Brillas, E., Vilar, V.J.P., 2015. Incorporation of electrochemical advanced oxidation processes in a multistage treatment system for sanitary landfill leachate. *Water Res.* 81, 375–387. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.05.036>
- Müller, G.T., Giacobbo, A., dos Santos Chiamonte, E.A., Rodrigues, M.A.S., Meneguzzi, A., Bernardes, A.M., 2015. The effect of sanitary landfill leachate aging on the biological

Realização



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375



11º SIMPÓSIO  
INTERNACIONAL  
DE QUALIDADE  
AMBIENTAL

02 A 04 DE  
OUTUBRO  
PORTO ALEGRE-RS  
TEATRO DA PUCRS



TEMA  
meio ambiente,  
política & economia

- treatment and assessment of photoelectrooxidation as a pre-treatment process. *Waste Manag.* 36, 177–183. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.10.024>
- Naveen, B.P., Mahapatra, D.M., Sitharam, T.G., Sivapullaiah, P.V., Ramachandra, T.V., 2017. Physico-chemical and biological characterization of urban municipal landfill leachate. *Environ. Pollut.* 220, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.09.002>
- Oller, I., Malato, S., Sánchez-Pérez, J.A., 2011. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. *Sci. Total Environ.* 409, 4141–4166. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.08.061>
- Oturan, M.A., Oturan, N., Lahitte, C., Trevin, S., 2001. Production of hydroxyl radicals by electrochemically assisted Fenton's reagent: Application to the mineralization of an organic micropollutant, pentachlorophenol. *J. Electroanal. Chem.* 507, 96–102. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-0728\(01\)00369-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-0728(01)00369-2)
- Panizza, M., Cerisola, G., 2009. Direct And Mediated Anodic Oxidation of Organic Pollutants. *Chem. Rev.* 109, 6541–6569. <https://doi.org/10.1021/cr9001319>
- Renou, S., Givaudan, J.G., Poulain, S., Dirassouyan, F., Moulin, P., 2008. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *J. Hazard. Mater.* 150, 468–493. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- Svensson, B.-M., Mathiasson, L., Mårtensson, L., Bergström, S., 2005. *Artemia salina* as test organism for assessment of acute toxicity of leachate water from landfills. *Environ. Monit. Assess.* 102, 309–321. <https://doi.org/10.1007/s10661-005-6029-z>

Realização

ABES-RS



Correalização



Informações:

qualidadeambiental.org.br  
abes-rs@abes-rs.org.br  
(51) 3212.1375