

III-078 – AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DO LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO PÓS TRATAMENTO FOTO-FENTON

Bruna Lariane de Medeiros ⁽¹⁾

Engenheira Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE. Mestranda em Engenharia Química na UNIOESTE.

Aparecido Nivaldo Módenes ⁽²⁾

Professor da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Graduado e mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas.

Isabella Cristina Dall' Oglio ⁽³⁾

Graduação em Engenharia Química e mestranda em Engenharia Química na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Aline Roberta de Pauli ⁽⁴⁾

Graduação em Engenharia Química, mestre e doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste).

Andréia Colombo ⁽⁵⁾

Graduação em Engenharia Química, mestre e doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste).

Endereço⁽¹⁾: Rua Antônio José Elias, 169 - Coqueiral - Cascavel - PR - CEP: 85807-570 - Brasil - Tel: (45) 998425549 - e-mail: larianemedeiros@gmail.com

RESUMO

A concentração crescente de resíduos líquidos de aterro sanitário em ecossistemas aquáticos tem despertado cada vez mais interesse, devido à toxicidade que podem provocar nos organismos habitantes. Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo, avaliar a toxicidade em amostras de lixiviado tratado por processo foto-Fenton com irradiação artificial, frente às espécies de *Artemia salina* e *Lactuca sativa*. Para tanto, as condições de tratamento utilizadas para o processo foto-Fenton, foram o pH inicial do efluente de 2,4 e concentrações de Fe^{2+} de 80 ppm e H_2O_2 de 3400 ppm. Sendo retiradas alíquotas do efluente em tempos de tratamento pré-determinados para a análise da toxicidade. Durante os testes de toxicidade foram determinados a inibição do crescimento das raízes e radículas da *Lactuca sativa*, o efeito sobre a germinação das sementes e o efeito sobre a mortalidade dos microcrustáceos, além da concentração letal (DL_{50}) para cada espécie. O tratamento foto-Fenton demonstrou-se capaz de reduzir a toxicidade do chorume, apresentando-se eficaz em tempos de tratamento superiores a 20 min.

PALAVRAS-CHAVE: Toxicidade, Chorume, Tratamento foto-Fenton.

INTRODUÇÃO

Atualmente, uma das grandes preocupações ambientais da sociedade está relacionada aos resíduos sólidos gerados pela produção de bens e serviços. Com o crescimento urbano, a industrialização e a decorrente elevação dos patamares de consumo, vêm ocorrendo um aumento da geração de resíduos sólidos, impondo grandes demandas (Roth e Garcias, 2009).

A disposição de resíduos em aterros sanitários constitui a técnica mais utilizada mundialmente para a remediação de resíduos sólidos (Moravia, 2010). Os resíduos em decomposição sob o solo, juntamente com a água proveniente principalmente da chuva, geram o chorume, o qual percola até a base do aterro e, posteriormente, deverá ser drenado. O percolado é um líquido escuro e com forte odor, que apresenta em sua composição altos teores de compostos orgânicos e inorgânicos, nas suas formas dissolvida e coloidal, liberados no processo de decomposição do lixo. A composição do chorume é variável e complexa e está condicionada a uma série de fatores, dependendo muito dos tipos de resíduos que são depositados no terreno (Carniato *et al.*, 2007; De Moraes *et al.*, 2006).

De acordo com Moravia (2010), o chorume possui alto potencial patogênico e toxicológico e sua percolação pode provocar a poluição das águas subterrâneas e superficiais, sendo que uma das primeiras alterações observadas é a redução do teor de oxigênio dissolvido, que pode prejudicar a fauna e a flora aquática. Portanto, a correta coleta, destinação e tratamento do percolado se fazem extremamente necessárias, uma vez que se trata de um líquido altamente tóxico para o meio ambiente, sobretudo para os ambientes aquáticos.

Como alternativa de tratamento, têm-se os Processos Oxidativos Avançados (POAs), que são altamente eficientes para destruir substâncias orgânicas de difícil degradação. Estes processos são, em geral, baseados na formação do radical $\bullet\text{OH}$ que atua oxidando os poluentes orgânicos a CO_2 , H_2O e íons inorgânicos. Dentre os POAs, destaca-se o processo foto-Fenton, baseado na geração de $\bullet\text{OH}$ a partir da decomposição de peróxido de hidrogênio catalisada por íons ferrosos (Fe^{+2}) em condição ácida e na presença de luz UV (Palácio *et al.*, 2012; Borba *et al.*, 2013; Hermosilla *et al.*, 2009).

Os sistemas de tratamento de efluentes são monitorados convencionalmente por análises físico-químicas, tais como demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos, concentrações de metais e de outras substâncias de caráter orgânico ou inorgânico. No entanto, somente as análises físico-químicas tradicionalmente realizadas não são capazes de distinguir entre as substâncias que afetam os sistemas biológicos e as que são inertes no ambiente e, por isso, não são suficientes para avaliar o potencial de risco ambiental dos contaminantes. Portanto, testes de toxicidade são ferramentas desejáveis para avaliar a qualidade das águas e a carga poluidora de efluentes (Costa *et al.*, 2008).

Segundo Costa *et al.* (2008), os testes de toxicidade podem ser classificados em agudos e crônicos. Esses testes diferem na duração e nas respostas finais que são medidas. Os testes de toxicidade aguda são utilizados para medir os efeitos de agentes tóxicos sobre espécies aquáticas durante um curto período de tempo em relação ao período de vida do organismo teste.

Testes de toxicidade crônica são realizados para medir os efeitos de substâncias químicas sobre espécies aquáticas por um período que pode abranger parte ou todo o ciclo de vida do organismo-teste. Os testes de toxicidade podem ainda ser classificados em estáticos, semi-estáticos e dinâmicos, de acordo com o método de adição das soluções-teste (Costa *et al.*, 2008; Magalhães e Filho, 2008.).

Em relação aos organismos-teste utilizados, destacam-se as espécies *Artemia salina* e *Lactuca sativa*. A *Artemia salina* é um microcrustáceo de água salgada, que se sobressai por compor um bioensaio de toxicidade de baixo custo, rapidez na obtenção dos resultados e por não exigir técnicas assépticas. Em função de seu habitat natural, representa um importante indicador biológico para meios com elevadas concentrações de sais. Já a espécie *Lactuca sativa* é normalmente recomendada devido ao crescimento rápido e a pouca reserva de energia necessária para sua germinação (Palácio *et al.*, 2012; Costa *et al.*, 2008).

Deste modo, o presente estudo teve como objetivo avaliar a toxicidade aguda em amostras de lixiviado tratado por processo foto-Fenton com irradiação artificial, frente às espécies de *Artemia salina* e *Lactuca sativa*.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tratamento do efluente por foto-Fenton

O efluente de estudo, proveniente do aterro sanitário de Cascavel situado na região Oeste do Paraná, foi submetido ao tratamento pelo processo foto-Fenton em reator de escala laboratorial utilizando o sistema batelada. O reator consistiu em um béquer de 200 mL e um agitador magnético para homogeneização das amostras. A irradiação artificial do chorume foi realizada em uma câmara contendo três reatores e submetendo os mesmos à irradiação utilizando lâmpadas de vapor de mercúrio de 250 W.

Em trabalhos anteriores determinou-se que as condições operacionais ótimas para o tratamento do chorume por foto-Fenton são o pH inicial do efluente de 2,4, concentrações de Fe^{2+} de 80 ppm e H_2O_2 de 3400 ppm. O chorume foi irradiado por 180 minutos, sendo retiradas alíquotas nos tempos de irradiação 0, 5, 10, 20, 30, 45, 60, 90, 120 e 180 minutos.

A fim de parar a reação de Fenton, depois de cada tratamento o pH da solução foi aumentado para 7, e a enzima catalase 4 gL^{-1} foi adicionado às amostras sob agitação durante 10 min, para remover o peróxido de hidrogênio residual.

Após a adição da enzima catalase, as concentrações de peróxido de hidrogênio residuais foram analisadas segundo a metodologia descrita em Silva *et al.* (2004). Posteriormente as amostras foram armazenadas em recipientes de polietileno e mantidas sob refrigeração a 4°C .

Bioensaios com *Artemia salina*

Para realização da análise de toxicidade aguda por *Artemia salina*, seguiu-se a metodologia descrita por Meyer *et al.* (1982). Inicialmente preparou-se uma solução nutritiva – solução de Meyer – por meio da solubilização de 23,0 g de NaCl; 11,0g de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 4,0 g de Na_2SO_4 ; 1,3 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e 0,7 g de KCl em 1000 mL de água destilada. Posteriormente o pH da solução foi ajustado para 9,0 com uma solução de carbonato de sódio 1 M (Na_2CO_3).

Para eclosão dos cistos do microcústáceo, em um béquer de 250 mL contendo a solução de Meyer, foram adicionados 1 gL^{-1} (aproximadamente 250.000 cistos) de *Artemia salina*. Após, manteve-se o recipiente exposto à luz artificial, proveniente de uma lâmpada de tungstênio de 70 W, em temperatura ambiente e em capela de fluxo laminar para evitar qualquer contaminação do meio, por 48 horas.

Para o teste de toxicidade, foram utilizadas as larvas de *Artemia* mais resistentes, ou seja, as que se apresentavam presentes no lado onde a luz era incidida.

O efluente bruto e os tratados foram diluídos utilizando-se 20, 40, 60, 80 e 100% de efluente, em triplicata. A solução de Meyer foi utilizada como água de diluição e como controle negativo.

Em tubos de ensaio com o fundo chato foram adicionados 5 mL de cada solução preparada, adicionando-se em cada uma, 10 larvas de *Artemia salina*. Os recipientes foram mantidos em temperatura ambiente e sob a presença de luz, durante 24 horas, dentro de uma capela de fluxo laminar.

Decorridas 24 horas, fez-se a contagem do número de organismos que permaneceram vivos e com mobilidade inalterada. Desta forma, pode-se estimar a dose letal (DL_{50}) das amostras, ou seja, a concentração de chorume na amostra necessário para causar a morte de pelo menos 50% dos organismos. Os valores da DL_{50} foram estimados através do programa Trimmed Spearman-Kärber Method, versão 1.5 (Hamilton *et al.*, 1997).

Bioensaios com *Lactuca sativa*

Os testes de fitotoxicidade foram conduzidos segundo a metodologia descrita em Sobrero e Ronco (2004). Utilizaram-se sementes de *Lactuca sativa*, com percentual de germinação de 96% (fornecido pelo fabricante). Visando manter as sementes testes em condições ótimas de crescimento, foi preparada uma solução nutritiva, água dura reconstituída, fonte dos nutrientes necessários para sua germinação, por meio de adaptação da metodologia descrita por APHA (1998). Portanto, realizou-se a diluição de 0,2455 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,1920 g de NaHCO_3 ; 0,12 g de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e 0,008 g de KCl em 1000 mL de água.

As amostras (efluente bruto e os tratados) sofreram diluições utilizando-se a água dura reconstituída, sendo os percentuais de efluente em cada diluição de 1, 3, 10, 30 e 100%, em triplicata. O teste foi acompanhado por um branco contendo somente água dura.

Placas de Petry de 9 cm de diâmetro foram preparadas com papel filtro qualitativo de diâmetro apropriado, onde foram adicionados 4 mL da solução diluída. Sobre o papel saturado com a solução, foram dispostas espaçadamente 20 sementes de alface. As placas foram tampadas e envolvidas por papel filme para reduzir a perda de umidade, e então incubadas a $22 \pm 2^\circ \text{C}$, sob ausência de luz, por 120 horas. Após a incubação contou-se o número de sementes germinadas e mediram-se os comprimentos das raízes e radículas.

Por fim, por meio de análises estatísticas, pode-se estimar a dose letal média (DL_{50}), ou seja, a concentração da solução necessária para prejudicar o efeito de germinação e crescimento das raízes e radículas de 50% dos organismos do ensaio, utilizando-se o software Trimmed Spearman-Kärber Method Versão 1.5.

Estimou-se ainda, o percentual de germinação relativa (% GR) para cada diluição por meio da Equação 01 e os percentuais de inibição do crescimento relativo das raízes (% ICRR) e das radículas (% ICRRd), utilizando as Equações 02 e 03 e a partir dos valores médios para cada diluição.

$$\% GR = \frac{n^{\circ} SGA}{n^{\circ} SGC} \times 100 \quad \text{Equação (01)}$$

$$\% ICRR = \frac{MCRC - MCRA}{MCRC} \times 100 \quad \text{Equação (02)}$$

$$\% ICRRd = \frac{MCRdC - MCRdA}{MCRdC} \times 100 \quad \text{Equação (03)}$$

Onde, n° SGA é o número de sementes que germinaram na amostra, n° SGC o número de sementes que germinaram no controle, MCRC e MCRA as médias dos comprimentos das raízes das amostras e do controle, respectivamente, e MCRdC e MCRdA são as médias dos comprimentos das radículas das amostras e do controle, respectivamente.

Foram realizados ainda, testes de toxicidade com as espécies *Artemia salina* e *Lactuca sativa* para soluções de peróxido de hidrogênio e para o efluente bruto ajustado para o pH de 2,4 (Bruto Aj.).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados de toxicidade obtidos para a espécie *Artemia salina*, indicaram uma alta mortalidade dos microcrustáceos em concentrações elevadas, como pode-se observar na Tabela 1, onde nas concentrações de 60, 80 e 100% observou-se que todos os organismos morreram, indicando indícios de elevados níveis de toxicidade para a espécie *Artemia salina*. Abaixo da concentração de 60% o comportamento se modifica, apresentando menor mortalidade a medida que a concentração de efluente é reduzida, o que é esperado, já que a quantidade de substâncias tóxicas diminui com o aumento da diluição.

Já quando se analisa o tempo de tratamento, verifica-se que para os tempos iniciais a mortalidade dos microcrustáceos foi elevada, sendo a partir do tempo de irradiação de 20 min que os níveis de mortalidade diminuem. Indicando, que o efluente apresenta alta toxicidade e o tratamento por foto-Fenton não é eficaz em tempos iniciais.

Com o total de microcrustáceos mortos em cada diluição foi possível estimar a dose letal (DL_{50}) do efluente, apresentada na Tabela 1. Para os tempos de tratamento de 0 a 5 min e 45 min, não foi possível estimar a DL_{50} devido ao elevado índice de mortalidade presente em todas as amostras.

Ao analisar a Tabela 1, verifica-se a redução da letalidade dos organismos expostos ao efluente, ao longo do tratamento. Novamente observa-se que a partir do tempo de tratamento de 20 min, que o mesmo apresenta-se eficaz, indicando que o processo pode ser usado como alternativa de tratamento do percolado de aterro sanitário nestas condições.

A espécie *Lactuca sativa* também mostrou-se capaz de se estabelecer em meio potencialmente tóxico, se desenvolvendo parcialmente, apresentando efeitos letais (inibição da germinação) e sub-letais (inibição do desenvolvimento das raízes e das radículas). Os resultados da germinação relativa para as sementes de alface e os valores de DL_{50} estimados estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 1: Número total de *Artemias salinas* mortas e dose letal em relação às diluições utilizadas para os tempos de tratamento de 0 a 180 min.

Amostras	nº total de <i>Artemias salinas</i> mortas						DL ₅₀	Intervalo de Confiança (95%)
	0%	20%	40%	60%	80%	100%		
Bruto	11/31	27/28	31/31	30/30	31/31	34/34	-	-
Bruto Aj.	11/31	29/30	32/32	30/30	32/32	30/30	-	-
5 min	11/31	23/32	32/32	30/30	30/30	31/31	-	-
10 min	11/31	20/32	30/30	30/30	30/30	31/31	22,03	-
20 min	11/31	11/30	27/31	31/31	31/31	30/30	31,26	28,76 - 33,99
30 min	11/31	13/30	29/30	31/31	30/30	30/30	27,47	25,80 - 29,24
45 min	11/31	23/29	30/30	30/30	32/32	31/31	-	-
60 min	11/31	19/31	27/30	29/29	29/29	28/28	23,37	18,80 - 29,05
90 min	11/31	19/32	24/29	30/30	30/30	30/30	25,63	20,20 - 32,51
120 min	11/31	17/31	26/31	31/32	31/31	30/30	27,22	22,81 - 32,47
180 min	11/31	9/33	28/30	31/31	31/31	30/30	29,83	28,11 - 31,66

Tabela 2: Germinação relativa ao controle negativo e dose letal em relação às diluições utilizadas para os tempos de tratamento de 0 a 180 min.

Amostras	Frações de lixiviado (% V/V)					DL ₅₀	Intervalo de Confiança (95%)
	1	3	10	30	100		
	%GR	%GR	%GR	%GR	%GR		
Bruto	94,9	98,3	91,5	0,0	0,0	15,96	14,53 - 17,52
Bruto Aj.	100,0	94,9	96,6	6,8	0,0	16,99	15,17 - 19,02
5 min	98,3	94,9	98,3	18,6	0,0	20,16	17,46 - 23,29
10 min	96,6	100,0	94,9	15,3	0,0	19,37	17,00 - 22,07
20 min	96,6	96,6	94,9	18,6	0,0	20,11	17,42 - 23,23
30 min	93,2	98,3	100,0	40,7	0,0	27,03	23,12 - 31,61
45 min	94,9	96,6	94,9	76,3	0,0	41,31	35,23 - 48,43
60 min	100,0	93,2	96,6	96,6	0,0	46,86	42,19 - 52,15
90 min	98,3	98,3	96,6	93,2	0,0	50,00	45,35 - 55,12
120 min	96,6	98,3	91,5	96,6	0,0	49,66	44,59 - 55,31
180 min	94,9	100,0	96,6	93,2	0,0	50,69	45,85 - 56,05

Em todos os tempos de irradiação mais de 50% das sementes de *Lactuca sativa* germinaram para as concentrações de 1, 3 e 10%. Para a concentração de 30%, percebe-se que ao longo do tratamento o percentual de germinação relativa aumenta gradativamente, onde a partir do tempo de tratamento de 45 min mais de 50% das sementes germinaram. Não houve germinação em nenhum tempo de tratamento para a concentração de 100%. Verificou-se a partir da análise da DL₅₀, a redução da letalidade dos organismos expostos ao efluente tratado ao longo do processo foto-Fenton.

Os resultados para os percentuais de inibição do crescimento das raízes e radículas estão apresentados na Tabela 3. As plântulas de alface sofreram menor inibição no crescimento das raízes e das radículas nas amostras mais diluídas, devido à menor concentração de substâncias tóxicas. Ocorreram inibições negativas do crescimento da radícula em algumas amostras, em decorrência do maior desenvolvimento das radículas nas mesmas do que no controle negativo.

Tabela 3: Inibição do crescimento da raiz e da radícula relativo ao controle negativo, em relação às diluições utilizadas para os tempos de tratamento de 0 a 180 min.

Amostras	Frações de lixiviado (% , V/V)									
	1		3		10		30		100	
	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd
Bruto	10,3	-2,8	17,6	-23,0	43,2	-32,2	100,0	100,0	100,0	100,0
Bruto Aj.	33,3	5,1	70,6	15,7	75,6	20,1	94,1	62,2	100,0	100,0
5 min	28,0	6,0	39,7	2,4	44,5	-6,8	81,0	37,4	100,0	100,0
10 min	22,9	12,5	33,5	0,5	51,5	-4,2	93,1	55,9	100,0	100,0
20 min	35,2	8,0	19,8	-10,0	44,8	-4,6	89,6	22,7	100,0	100,0
30 min	22,6	-9,2	41,6	-3,9	58,3	-11,5	91,2	50,6	100,0	100,0
45 min	24,5	-3,0	43,3	-5,2	60,4	11,0	84,7	39,3	100,0	100,0
60 min	18,5	2,0	33,1	-4,7	67,1	16,5	68,2	21,3	100,0	100,0
90 min	22,7	4,2	29,0	-0,9	45,5	-2,2	72,5	28,6	100,0	100,0
120 min	25,1	4,1	23,1	5,2	48,5	-3,1	65,7	13,9	100,0	100,0
180 min	22,5	10,5	25,7	-8,7	42,9	1,6	66,0	21,6	100,0	100,0

Realizaram-se ainda, testes de toxicidades em soluções de peróxido de hidrogênio com concentrações pré-determinadas, as quais se apresentaram presentes nas amostras de efluente tratado, para verificar se a toxicidade observada pode ser atribuída a presença de peróxido de hidrogênio residual.

Os valores de DL_{50} estimados para a espécie *Artemia salina* estão apresentados na Tabela 4. A concentração de 45 ppm foi a maior concentração verificada nas amostras, observa-se que a mesma apresenta um valor de DL_{50} superior aos verificados para as amostras tratadas por processo foto-Fenton. Este fato indica que a toxicidade observada frente à espécie *Artemia salina*, não pode ser atribuída a presença do peróxido residual.

Tabela 4: Dose letal e intervalo de confiança para a espécie *Artemia salina*, referente ao peróxido de hidrogênio.

Concentração H ₂ O ₂ (ppm)	DL ₅₀	Intervalo de Confiança (95%)
12	89,44	-
19	88,77	87, 18 - 90,40
27	89,36	-
45	86,69	83,51- 90,00

Para a espécie *Lactuca sativa*, não foi possível estimar os valores de DL_{50} , somente estimou-se os percentuais de germinação relativa e a inibição do desenvolvimento das raízes e das radículas. Os resultados estão apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Observa-se que as plântulas de alface apresentaram maior percentual de germinação para o peróxido de hidrogênio do que para as amostras de efluente tratado, exibindo um alto percentual de germinação relativa (acima de 80%) para todas as concentrações. E ainda, menores percentuais de inibição das raízes e das radículas (em torno de 30%). Logo, os níveis de toxicidade observados para a espécie *Lactuca sativa*, não deve ser atribuída a presença do peróxido de hidrogênio residual.

Tabela 5: Germinação relativa ao controle negativo em relação às diluições utilizadas para o peróxido de hidrogênio.

Concentração H ₂ O ₂ (ppm)	Frações de lixiviado (% V/V)				
	1	3	10	30	100
	%GR	%GR	%GR	%GR	%GR
12	94,9	98,3	101,7	101,7	98,3
19	91,5	98,3	94,9	96,6	94,9
27	94,9	96,6	91,5	100,0	94,9
45	98,3	100,0	98,3	94,9	93,2

Tabela 6: Inibição do crescimento da raiz e da radícula relativo ao controle negativo, em relação às diluições utilizadas para o peróxido de hidrogênio.

Concentração H ₂ O ₂ (ppm)	Frações de lixiviado (% V/V)									
	1		3		10		30		100	
	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd	%ICR	%ICRd
12	11,9	-6,0	14,7	16,1	8,7	21,3	-5,4	1,6	1,8	26,3
19	11,0	-4,5	12,4	12,1	13,8	10,7	10,2	12,6	10,2	24,6
27	16,7	14,0	0,1	5,0	15,2	12,9	12,4	18,0	7,2	32,9
45	2,5	3,3	7,9	0,1	26,5	22,4	15,6	17,5	4,3	24,9

CONCLUSÃO

O uso da reação de foto-Fenton para o tratamento do percolado de aterro sanitário demonstrou-se eficaz na redução da toxicidade do efluente inicial.

A utilização de diferentes organismos para avaliar a toxicidade do chorume evidencia a sensibilidade particular de cada organismo num dado meio. No caso do chorume tratado por foto-Fenton, ambas as espécies estudadas indicaram toxicidade do meio. Entretanto, a espécie *Lactuca sativa* apresentou menor sensibilidade, sendo possível determinar os valores de DL₅₀ para todas as amostras. Ao contrário do teste realizado frente a *Artemia salina*, que demonstrou que o tratamento torna-se eficaz apenas a partir do tempo de tratamento de 20 min.

Deste modo, com o fotoreator operando em pH ácido ($\approx 2,4$), e com as concentrações de H₂O₂ e Fe²⁺ em 3400 e 80 ppm, em períodos de tempo superiores a 20 min de irradiação, nota-se que este processo pode ser utilizado como alternativa eficaz para minimizar os riscos de poluição dos recursos hídricos oriundos dos percolados de aterro sanitário.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA: Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed. Baltimore, MD: United Book Press, 1998.
2. BORBA, F. H.; MÓDENES, A. N.; QUIÑONES, F. R. E.; MANENTI, D. R.; BERGAMASCO, R.; MORA, N. D. 2013. Toxicity assessment of tannery effluent treated by an optimized photo-Fenton process. *Environmental technology*, **34**(5): 653-661.
3. CARNIATO, J. G.; GERALDO, S. M.; PELEGRINI, N. N. B.; PATERNIANI, J. E. S.; PELEGRINI, R.T. 2007. Avaliação da toxicidade de percolado de resíduos sólidos pós tratamento biológico e fotocatalítico. *Engenharia Ambiental*, **4**(2): 92-101.
4. COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. 2008. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. *Quim. Nova*, **31**(7): 1820-1830.
5. DE MORAIS, J. L.; SIRTORI, C.; ZAMORA, P. G. P. 2006. Tratamento de chorume de aterro sanitário por fotocatalise heterogênea integrada a processo biológico convencional. *Química Nova*, **29**(1): 20.

6. HAMILTON, M. A.; RUSSO, R.C.; THURSTON R.V. 1997. Trimmed Spearman Karber statistical method for estimating median lethal concentration in toxicity bioassays, *Environ. Sci. Technol.* **11**: 714-719.
7. HERMOSILLA, D.; CORTIJO, M.; HUANG, C. P. 2009. The role of iron on the degradation and mineralization of organic compounds using conventional Fenton and photo-Fenton processes. *Chemical Engineering Journal*, **155**(3): 637-646.
8. MAGALHÃES, D. P.; FILHO, A. F. 2008. A ecotoxicologia como ferramenta no biomonitoramento de ecossistemas aquáticos. *Oecologia brasiliensis*, **12**(3): 3.
9. 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 Med.*, **45**: 35- 34.
10. MORAVIA, W. G. 2010. *Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas*. Belo Horizonte, MG. Tese de doutorado. UFMG, 262 p.
11. PALÁCIO, S. M.; NOGUEIRA, D. A.; MANENTI, D. R.; MÓDENES, A. N.; QUIÑONES, F. R. E.; BORBA, F. H. 2012. Estudo da toxicidade de efluente têxtil tratado por foto-fenton artificial utilizando as espécies *Lactuca sativa* e *Artemia salina*. *ENGEVISTA*, **14**(2): 127-134.
12. ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. 2009. A influência dos padrões de consumo na geração de resíduos sólidos dentro do sistema urbano. *Redes*, **13**(3): 5-13.
13. SILVA, M. R. A.; OLIVEIRA, M. C.; NOGUEIRA, R. F.P. 2004. Estudo da aplicação do processo Foto-Fenton solar na degradação de efluentes de indústrias de tintas. *Eclética Química*, **29**: 19-26.
14. SOBRERO, M. C.; RONCO, A. 2004. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). *Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas*. IDRC/IMTA. Canadá, Capítulo, 4, 71-79.