

III-130 - PÓS TRATAMENTO DE LIXIVIADO ANTIGO DE ATERRO SANITÁRIO POR COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO COMBINADO COM FOTO-FENTON SOLAR

Elisângela Maria Rodrigues Rocha ⁽¹⁾

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco e doutora em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará. Professora adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba e membro efetivo do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental da mesma universidade.

Camila de Almeida Porto

Engenheira ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

Mariana Maciel de Andrade Almeida

Engenheira ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Pós-graduanda em Sistemas de Gestão Integrados da qualidade, meio ambiente, segurança e saúde no trabalho e responsabilidade social pelo SENAC.

Larissa Granjeiro Lucena

Engenheira ambiental pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela mesma universidade. Doutoranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – Área Saneamento Ambiental na Universidade Federal do Ceará.

Erika Silva Lima

Engenheira ambiental pela Universidade Federal da Paraíba.

Romildo Henriques dos Anjos Junior

Técnico em Saneamento pelo Instituto Federal da Paraíba. Licenciado em Química pela Universidade Federal da Paraíba. Servidor técnico do laboratório de Saneamento da UFPB.

Endereço⁽¹⁾: Campus I da UFPB, Centro de Tecnologia, Sala CTJ 208, CEP: 58051-900 - Brasil - Tel: (83) 3216-7861 - e-mail: elis_eng@yahoo.com.br

RESUMO

O tratamento de lixiviado apresenta-se como um dos principais problemas associados aos aterros sanitários devido a sua composição complexa. Neste trabalho, a coagulação/floculação, utilizando-se cloreto férrico e *Moringa oleifera* como coagulantes, seguido do processo foto-Fenton solar otimizados foram investigados no pós-tratamento de lixiviado antigo de aterro sanitário. Inicialmente, o efluente foi caracterizado. Em seguida, os processos de tratamento foram aplicados isoladamente e, por fim, os sobrenadantes das amostras pré-tratadas por coagulação/floculação também foram submetidos ao foto-Fenton solar. Constatou-se elevada presença de material orgânico recalcitrante no efluente e também foi possível caracteriza-lo como lixiviado antigo, indicando a adequação com pós tratamento físico-químico. Os tratamentos individuais apresentaram boas remoções de cor verdadeira (>50%), DQO (>60%) e turbidez (>45%), com exceção da coagulação/floculação com a *Moringa oleifera* que apenas apresentou remoção de cor verdadeira (36%). A combinação dos tratamentos contribuiu para o aumento nas remoções, especialmente, de cor verdadeira (>95%). Os tratamentos físico-químicos aplicados mostraram-se eficientes para o efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamentos físico-químicos, Efluente, Cloreto férrico, *Moringa oleifera*.

INTRODUÇÃO

Um dos principais problemas associados à operação dos aterros sanitários é a geração de lixiviado (KULIKOWSKA & KLIMIUK, 2008), líquido originado da decomposição biológica e a água da chuva que infiltra os resíduos (KURNIAWAN et al., 2006). Este efluente necessita de tratamento prévio para que possa ser lançado no meio ambiente devido ao seu alto potencial poluidor (CASTILHO JUNIOR et al., 2010; KAWAHIGASHI et al., 2014). No entanto, a complexidade deste efluente dificulta a formulação de recomendações gerais de tratamento (RENOU et al, 2008).

Entre os tratamentos físico-químicos, a coagulação/floculação é um tratamento simples, de baixo custo e versátil, com boa eficiência (TEH et al., 2016). A coagulação consiste na precipitação de partículas dissolvidas

e na desestabilização de suspensões coloidais, seguida de floculação, que aglutina as partículas coaguladas de modo a permitir sua separação por filtração ou sedimentação (RICHTER, 2009). Para tornar isso possível, é necessária a adição de um coagulante, geralmente cloreto férrico e sulfato de alumínio (EBELING et al., 2003). A melhoria do processo levou ao uso de coagulantes à base de plantas naturais devido à sua biodegradabilidade e não toxicidade (TEH et al., 2016), especialmente *Moringa oleifera* (YIN, 2010).

Outro tratamento, o foto-Fenton solar, destaca-se pela capacidade de mineralizar compostos orgânicos indiscriminadamente recalcitrantes (TEIXEIRA & JARDIM, 2004). Caracteriza-se pela ação do radical hidroxila (OH^\bullet), formado a partir da decomposição do peróxido de hidrogênio na presença de íons ferrosos, regenerados pela radiação ultravioleta (NOGUEIRA et al., 2007). As principais variáveis intervenientes desse processo são o pH, a concentração e a razão dos reagentes (LUCENA & ROCHA, 2015).

Segundo Vendrenne et al. (2012), coagulação / floculação e foto-Fenton têm sido relatadas como processos que apresentam alta eficiência para o tratamento de lixiviados e sua combinação mostra uma combinação apropriada para alcançar uma desintoxicação mais profunda. O nível de tratamento para este efluente está sujeito à legislação ambiental e, a nível nacional, deve obedecer aos padrões estabelecidos na Resolução n.º 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (BRASIL, 2011).

O trabalho teve como objetivo avaliar o pós-tratamento de lixiviado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) por meio de uma combinação de coagulação/ floculação utilizando cloreto férrico e *Moringa oleifera* e foto-Fenton solar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Caracterização do lixiviado de aterro sanitário

O lixiviado foi coletado em outubro de 2016 na segunda lagoa facultativa do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, Paraíba - Brasil (ASMJP). A caracterização físico-química (Tabela 1) do efluente foi realizada de acordo com os *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005).

Tabela 1 – Caracterização do lixiviado do ASMJP.

Parâmetro	Valor	Método	CONAMA n.º 430/11
DBO_5 ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	356,00	Respirométrico ¹	60 ²
DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	3.734,55	Fluxo fechado e colorimétrico	NE
pH	8,49	Eletrométrico	5,0 – 9,0
Ferro total (mg. L^{-1})	5,21	Fenantrolina	15 ³
Sólidos totais (mg. L^{-1})	11.344,44		
Sólidos totais fixos (mg. L^{-1})	8.874,44	Gravimétrico	NE
Sólidos totais voláteis (mg. L^{-1})	2.470,00		
Cor verdadeira (mg Pt-Co. L^{-1})	6.375,00	Platino-cobalto	NE
Turbidez (NTU)	131,00	Nefelométrico	NE

NE: Não especificado; ¹ Manual OXITOP; ²PARAÍBA (1988); ³Ferro dissolvido.

Procedimento experimental

Os experimentos foram realizados em duas fases. A coagulação/floculação, utilizando cloreto férrico (FeCl_3) e *Moringa oleifera* como coagulantes, e foto-Fenton solar (Fator = 1,0) foram aplicadas ao lixiviado de lagoa de estabilização do ASMJP (Etapa 1). Em seguida, o foto-Fenton solar foi aplicada com duas condições (Fator = 1,0 e 0,5) no sobrenadante das amostras previamente tratadas por coagulação/floculação (Etapa 2). Na Figura 1, é possível ver a representação das amostras.

Todas as amostras foram coletadas no mesmo dia e à temperatura ambiente (28 ° C). O ajuste do pH foi realizado com ácido sulfúrico (concentrado e 2N).

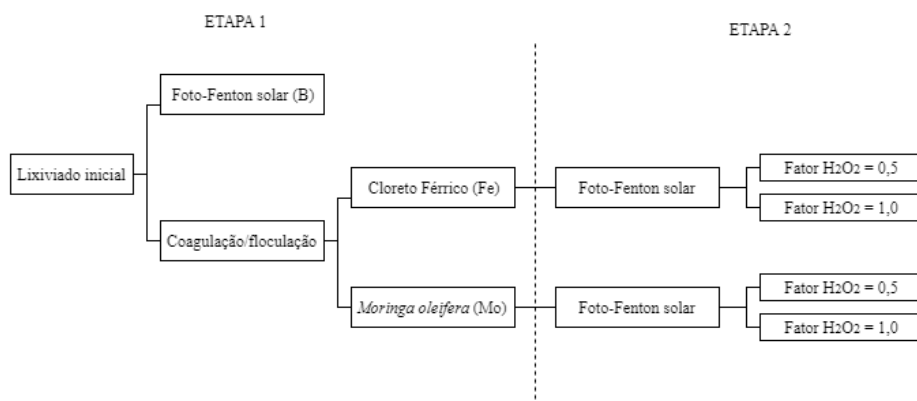


Figura 1 – Representação das amostras.

Coagulação/Floculação

A coagulação/floculação foi realizada com 600 mL do lixiviado, utilizando-se o cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) e a *Moringa oleifera* como coagulantes, no equipamento *Jar Test* Ética. As condições experimentais de cada coagulante foram definidas em testes anteriores (dados não apresentados) e estão descritas na Tabela 2. Os coagulantes foram utilizados em solução com água destilada. Para a moringa, as sementes foram previamente descascadas e moídas.

Tabela 2 – Condições experimentais da coagulação/floculação.

Coagulante	Concentração (mg. L^{-1})	pH	Condições de mistura
Fe^{+3} (FeCl_3)	400	5	130 rpm/60s 40 rpm/10min
<i>Moringa oleifera</i>	4000	4	1h de sedimentação

Foto-Fenton solar

O foto-Fenton solar foi realizada nas condições otimizadas pelo Grupo de Estudo de Fotocatálise Solar: razão reagente ($\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{+2}$) = 4, pH do efluente = 3 e 2 (duas) horas de exposição ao sol. A quantidade de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi calculada pela Equação 1 considerando um fator de 1 (LUCENA & ROCHA, 2015). Um fator de 0,5 também foi aplicado para as amostras pré-tratadas, mantendo todas as outras condições.

$$\text{H}_2\text{O}_2 (\text{mg. L}^{-1}) = \text{Fator} \cdot 2,125 \cdot \text{DQO} (\text{mg. L}^{-1}) \quad (1)$$

Sendo,

Fator = Porcentagem da quantidade de H_2O_2 em relação à quantidade estequiométrica de O_2 necessária para a estabilização total de DQO.

Íons de ferro de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) foram adicionados apenas nas amostras previamente tratadas com *Moringa oleifera*. Os testes foram realizados na mesa do agitador SOLAB com agitação de 100 rpm, utilizando 100 ml do lixiviado.

Determinações analíticas

A eficiência do tratamento foi determinada como: cor verdadeira, DQO, turbidez e lodo gerado. A determinação de todos os parâmetros ocorreu após uma hora de sedimentação e o lodo gerado foi quantificado a partir do volume ocupado no material de vidro usado.

Após o estágio foto-Fenton solar, o H_2O_2 residual também foi determinado pelo método iodométrico (MENDGAM et al., 2011), devido a sua interferência na análise de COD (COSTA et al., 2015). A contribuição do H_2O_2 para a DQO das amostras foi calculada pela Equação 2 (KANG & HWANG, 2000) e subtraída da DQO final.

$$\text{DQO}_{\text{H}_2\text{O}_2} = 0,4706 \cdot [\text{H}_2\text{O}_2] - 4,06 \cdot 10^{-5} \cdot [\text{H}_2\text{O}_2]^2 \quad (2)$$

Sendo,

$DQO_{H_2O_2}$ = DQO de H_2O_2 in mg. L^{-1} ; $[H_2O_2]$ = Concentração de H_2O_2 residual em mg. L^{-1}

A eficiência de cada parâmetro foi determinada pela Equação 3. Ressalta-se que as eficiências dos parâmetros de cor verdadeira e DQO foram realizadas em relação ao lixiviado no pH do teste devido às alterações causadas pelo ajuste, conforme relatado por Amor et al. (2015).

$$E (\%) = \frac{(X - X_i)}{X} \cdot 100 \quad (3)$$

Sendo,

E = Eficiência; X = Parâmetro da amostra bruta/ pré-tratada; X_i = Parâmetro da amostra pós-tratada.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Caracterização do lixiviado de aterro

O ASMJP atua por meio de consórcio com sete municípios (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Conde, Cruz do Espírito Santo e Lucena) e está em operação desde 2003. Localiza-se no município de João Pessoa e ocupa 100 hectares. O sistema de tratamento de lixiviados do aterro consiste em 11 lagoas, caracterizando um tratamento biológico. Após esse tratamento, parte do lixiviado é recirculado nas células do aterro, retornando ao sistema (ASMJP, 2016).

Na Tabela 1, apresenta-se a caracterização do lixiviado da lagoa facultativa. Destaca-se que o efluente apresenta alta carga orgânica em termos de DQO, conforme encontrado por Felici et al. (2013) e Rocha et al. (2011), impossibilitando o lançamento. Comparando com a legislação ambiental (Tabela 1), também é possível observar que o pH e a concentração de ferro estão dentro do limite, mas não do DBO_5 , com um valor seis vezes maior que o permitido.

A baixa relação DBO_5 / DQO ($\sim 0,10$) e o pH alcalino ($\sim 8,45$) caracterizam esse lixiviado como antigo (RENOU et al., 2008). Cor alta também indica a presença de compostos recalcitrantes (FELICI et al., 2013). Assim, a aplicação de um tratamento físico-químico é necessária e apropriada devido à alta recalcitrância deste efluente.

Etapa 1: Tratamento individual

As remoções de cor verdadeira, DQO e turbidez das amostras dos tratamentos isolados são apresentadas na Figura 2. O processo foto-Fenton solar (B) obteve 53%, 82% e 48% de remoção de cor, DQO e turbidez, respectivamente. A coagulação / floculação com $FeCl_3$ (Fe) removeu 76% da cor verdadeira, 60% de DQO e 78% de turbidez. A coagulação / floculação com *moringa* (Mo) só obteve remoção de 36% de cor verdadeira e aumento de 18% de DQO e 26% de turbidez.

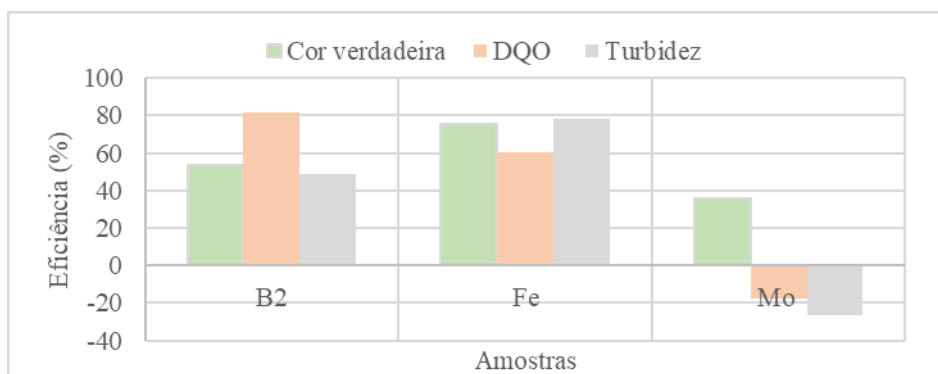


Figura 2 – Remoções de cor verdadeira DQO e turbidez dos tratamentos individuais. B: Foto-Fenton solar (Fator = 1,0); Fe: Coagulação/ floculação com $FeCl_3$; Mo: Coagulação/ floculação com *Moringa oleifera*.

Esses processos foram extensivamente estudados para o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Costa et al. (2015) obtiveram 78% de remoção de DQO utilizando foto-Fenton solar com $\text{H}_2\text{O}_2 / \text{Fe}^{+2} = 5$ e $\text{pH} = 3$. Felici et al. (2013) relataram remoções de 98% de cor verdadeira e 89% de DQO com 400 mg Fe^{+3} . L^{-1} e $\text{pH} 3$. Pedroso et al. (2011) encontraram uma remoção de 96% de cor aparente e 54% de DQO, usando *Moringa oleifera* em solução ($\text{pH} 4$). Os resultados encontrados neste trabalho corroboram com a literatura, exceto a coagulação/floculação com a moringa.

Em relação à *Moringa oleifera*, Pedroso et al. (2011) relataram que as amostras foram previamente filtradas, removendo o coagulante do sobrenadante. Neste trabalho, as amostras não foram filtradas. Segundo Yin (2010), o aumento na DQO está relacionado com a preparação simplificada do coagulante, podendo ser resolvido com uma preparação mais purificada.

Em relação a formação de lodo, a coagulação/floculação gerou 333 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ com FeCl_3 e 167 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$ com moringa, enquanto a foto-Fenton solar formou 100 $\text{mL} \cdot \text{L}^{-1}$. Maler et al. (2015) também observaram uma diminuição na produção de lodo com Fenton do que a coagulação/floculação com eficiência semelhante para o lixiviado de aterro sanitário.

Etapa 2: Tratamentos combinados

O ajuste do pH para foto-Fenton solar só foi necessário após a coagulação/ floculação com *Moringa oleifera*, sendo ajustada de 4,2 para 3,0. Após coagulação/floculação com FeCl_3 , o pH reduziu para 2,84, mantendo-o no estágio seguinte.

E uma concentração de 150,73 mg de $\text{Fe} \cdot \text{L}^{-1}$ foi encontrado na amostra pré-tratada por FeCl_3 . Esta foi aproximadamente a quantidade necessária para o processo foto-Fenton solar com um fator de 1. Por causa disso, não houve adição de ferro nesta amostra.

Na Figura 3, mostra as remoções de cor real, DQO e turbidez dos tratamentos combinados. Em relação à amostra previamente tratada por coagulação/ floculação com FeCl_3 (Fe), a combinação com foto-Fenton solar (FF1 e FF2) obteve remoção acima de 90% de cor verdadeira e 65% de DQO, porém houve aumento considerável de turbidez (50 e 90%, respectivamente). Em relação à amostra previamente tratada por coagulação / floculação com moringa (Mo), a combinação com foto-Fenton solar (FM1 e FM2) mostrou remoções acima de 60% de cor verdadeira, DQO e turbidez, exceto para remoção de DQO da amostra FM2.

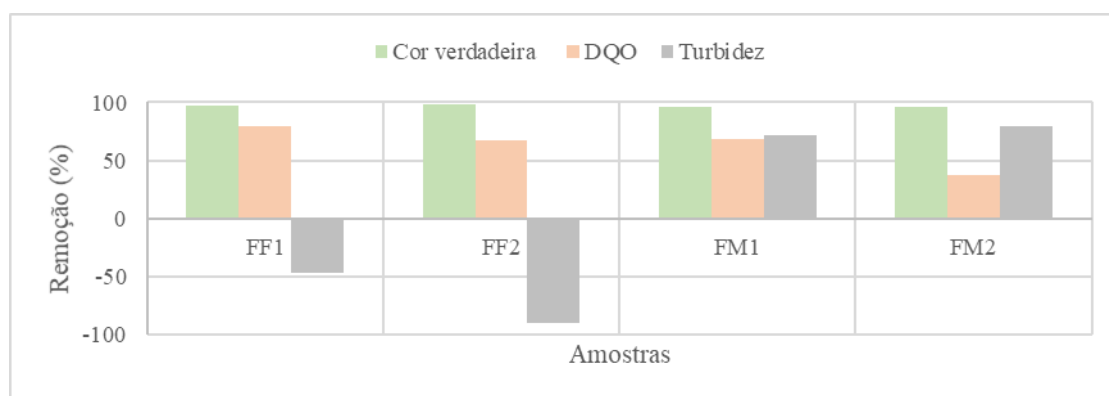


Figure 3 – Remoções de cor verdadeira, DQO e turbidez dos tratamentos combinados por coagulação/ floculação e foto-Fenton solar. FF: Coagulação/Floculação com FeCl_3 seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2); FM: Coagulação/Floculação com *Moringa oleifera* seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2).

Amor et al. (2015) também avaliaram o tratamento combinado de coagulação / floculação com FeCl_3 seguido de foto-Fenton solar para lixiviado cru e alcançaram 83% de remoção de DQO. Hetka et al. (2016) avaliaram a coagulação/ floculação com tanino (coagulante natural) seguida de foto-Fenton com radiação artificial e obtiveram 98%, 90% e 99% de remoção de cor aparente, DQO e turbidez, respectivamente. Os resultados encontrados neste trabalho são semelhantes à literatura, principalmente na remoção da cor verdadeira.

Também foi possível observar que as amostras com fator H_2O_2 de 0,5 (FF1 e FM1), com metade da quantidade de reagentes, apresentaram eficiências similares. Isto mostra a contribuição da coagulação/floculação na remoção de compostos recalcitrantes. Por outro lado, Amor et al. (2015) detectaram maior consumo de H_2O_2 associado com maior remoção de DQO em amostras pré-tratadas. A adição de H_2O_2 foi diferente nesses trabalhos - Amor et al. (2015) acrescentou ao longo do tempo e este trabalho acrescentou em uma dose única.

Em relação a formação do lodo, pode-se observar que houve maior geração nas amostras previamente tratadas com *Moringa oleifera* (Tabela 3), sendo estas amostras também as de maior eficiência, provavelmente devido à pequena contribuição da etapa anterior. Por outro lado, as amostras previamente tratadas com $FeCl_3$ apresentaram menos lodo e menor eficiência.

Tabela 3 – Lodo sedimentado após tratamento combinado.

Amostra	Lodo (mL. L ⁻¹)
FF1	16,7
FF2	12,5
FM1	50,0
FM2	100,0

FF: Coagulação/Floculação com $FeCl_3$ seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2); FM: Coagulação/Floculação com *Moringa oleifera* seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2).

Caracterização das amostras

Na Tabela 4, são apresentadas a cor verdadeira, a DQO e a turbidez das amostras tratadas em comparação com o lixiviado inicial. Observa-se que a foto-Fenton solar (B) foi a mais eficiente na remoção de DQO, coagulação/floculação com $FeCl_3$ (Fe) na remoção de turbidez e os tratamentos combinados (FF1, FF2, FM1 e FM2) na remoção da cor verdadeira.

Tabela 4 – Caracterização das amostras tratadas em comparação com o lixiviado inicial.

Amostra	Cor verdadeira (mg Pt-Co. L ⁻¹)	DQO (mg O ₂ . L ⁻¹)	Turbidez (NTU)
Lixiviado inicial	6375,00	3734,55	131,33
B	1716,67	554,16	67,67
Fe	1158,33	1388,58	28,67
Mo	2783,33	3831,67	166,00
FF1	108,33	720,39	193,33
FF2	58,33	1126,79	250,33
FM1	148,33	1038,90	37,00
FM2	175,00	2051,89	26,33

B: Foto-Fenton solar (Fator = 1,0); Fe: Coagulação/ floculação com $FeCl_3$; Mo: Coagulação/ floculação com *Moringa oleifera*. FF: Coagulação/Floculação com $FeCl_3$ seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2); FM: Coagulação/Floculação com *Moringa oleifera* seguida pelo foto-Fenton solar com fator H_2O_2 de 0,5 (1) e 1,0 (2).

Pode-se observar também que o foto-Fenton solar não obteve as remoções esperadas de DQO (80% - Figura 2) nas amostras pré-tratadas (Tabela 4). Apenas a amostra FM1 alcançou 70% de remoção de DQO e as demais obtiveram menos de 50%. A redução da eficiência nas amostras pré-tratadas por $FeCl_3$ pode estar relacionada à indisponibilidade de ferro, ocorrendo oxidação parcial. Nas amostras pré-tratadas pela *Moringa oleifera*, é possível que o aumento da matéria orgânica tenha reduzido a eficiência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização do lixiviado é importante para auxiliar na seleção do tratamento. O lixiviado do aterro sanitário deste estudo mostrou uma alta concentração de compostos recalcitrantes, evidenciando a necessidade de tratamentos físico-químicos. A combinação de coagulação / floculação e foto-Fenton solar é uma alternativa para o tratamento de lixiviados de aterro com FeCl_3 e principalmente com o uso de coagulante natural. No entanto, é necessário otimizar a preparação natural do coagulante, melhorando sua eficiência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMOR, C., TORRES-SOCIAS, E., PERES, J. A., MALDONADO, M. I., OLLER, I., MALATO, S., & LUCAS, M. S. (2015). Mature landfill leachate treatment by coagulation/flocculation combined with Fenton and solar photo-Fenton processes. *Journal of Hazardous Materials*, 286, 261–268.
2. American Public Health Association; The American Water Works Association; The Water Environment Federation (APHA; AWWA; WEF). (2005). *Standards methods for the examination of water and wastewater*, 21th ed. Washington, DC.
3. Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP) (2016). *Monitoramento do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - Relatório de Atividades* (Maio e junho).
4. BRASIL. (2010). Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010.
5. BRASIL. (2011). Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011.
6. CASTILHO JUNIOR, A. B.; DALSSASSO, R. L.; ROHERS, F. (2010). Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(4), 385–cas392.
7. CASTILHO JUNIOR, A. B.; DALSSASSO, R. L.; ROHERS, F. (2010). Pré-tratamento de lixiviados de aterros sanitários por filtração direta ascendente e coluna de carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 15(4), 385–392.
8. COSTA, F. M., CAMPOS, J. C., FONSECA, F. V., & BILA, D. M. (2015). Tratamento de lixiviados de aterros de resíduos sólidos utilizando processos Fenton e foto-Fenton Solar. *Revista Ambiente e Água*, 10(1), 107–116.
9. EBELING, J. M., SIBRELL, P. L., OGDEN, S. R., & SUMMERFELT, S. T. (2003). Evaluation of chemical coagulation/flocculation aids for the removal of suspended solids and phosphorus from intensive recirculating aquaculture effluent discharge. *Aquacultural Engineering*, 29, 23–42.
10. FELICI, E. M., KURODA, E. K., YAMASHITA, F., & SILVA, S. M. C. P. (2013). Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(2), 177–184.
11. HETKA, I. C. C., SOUZA, J. B., VIDAL, C. M. S., & SOUSA, K. V. (2016). Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por coagulação, ultrafiltração e processo oxidativo avançado. *Revista AIDIS*, 9(2), 240–255.
12. KANG, Y. W.; HWANG, K.-Y. (2000). Effects of reaction conditions on the oxidation efficiency in the Fenton process. *Water Research*, 34(10), 2786–2790.
13. KAWAHIGASHI, F., MENDES, M. B., JUNIOR, V. G. A., GOMES, V. H., FERNANDES, F., HIROOKA, E. Y., & KURODA, E. K. (2014). Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 19(3), 235–244.
14. KULIKOWSKA, D., & KLIMIUK, E. (2008). The effect of landfill age on municipal leachate composition. *Bioresource Technology*, 99, 5981–5985.
15. KURNIAWAN, T. A.; LO, W.; CHANG, G. YS. (2006). Physico-chemical treatments for removal of recalcitrant contaminants from landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 129, 80–100.
16. LUCENA, L. G., & ROCHA, E. M. R. (2015). Processo foto-Fenton solar no tratamento de lixiviados. *Revista DAE*, 63,54-68.
17. MALER, C. L., SIMIONATO, L. R., SANTOS, T. A., FERNANDES, F. (2015). Sequência de tratamentos para lixiviado de aterro sanitário utilizando os processos físico-químico convencional e Fenton como pós-tratamento. *Revista DAE*, (199), 47–57.
18. MENDHAM, J., DENNY, R. C., BARNES, J. D., & THOMAS, M. J. K. (2011). *Análise Química Quantitativa*. LTC Editora.
19. NOGUEIRA, R. F. P., TROVÓ, A. G., SILVA, M. R. A., VILLA, R. D., & OLIVEIRA, M. C. (2007). Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-Fenton. *Química Nova*, 30(2), 400–408.
20. PARAÍBA. (1988). Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA). Norma Técnica nº 301, de 24 de fevereiro de 1988.

21. PEDROSO, K., TAVARES, C. R. G., SOUZA, R. C., DIAS, P. R. Z., COSTA JR, E. F., & VIOTTI, P. V. (2011). Avaliação da tratabilidade do lixiviado do aterro de Maringá – PR com a utilização de coagulantes naturais. *Engenharia e Tecnologia*, 3(2), 47–52.
22. RENOU, S., GIVAUDAN, J. G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., & MOULIN, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, 468–493.
23. RICHTER, C. A (2009). *Água: métodos e tecnologia de tratamento*. Blucher.
24. ROCHA, E. M. R., VILAR, V. J. P., FONSECA, A., SARAIVA, I., & BOAVENTURA, R. A. R. (2011). Landfill leachate treatment by solar-driven AOPs. *Solar Energy*, 85, 46–46.
25. TEIXEIRA, C. P. A. B., & JARDIM, W. F. (2004). *Processos Oxidativos Avançados: conceitos teóricos*. Caderno temático, v. 3. Universidade Estadual de Campinas.
26. TEH, C. Y., BUDIMAN, P. M., SHAK, K. P. Y., & WU, T. Y. (2016). Recent Advancement of coagulation-flocculation and its application in wastewater treatment. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 55, 4363–4389.
27. VEDRENNE, M.; VASQUEZ-MEDRANO, R.; PRATO-GARCIA, D.; FRONTANA-URIBE, B. A.; IBANEZ, J. G. (2012). Characterization and detoxification of a mature landfill leachate using a combined coagulation–flocculation/photo Fenton treatment. *Journal of Hazardous Materials*, 205/206, 208–215.
28. YIN, C-Y. (2010). Emerging usage of plant-based coagulants for water and wastewater treatment. *Process Biochemistry*, 45(9), 437–444.