

Tratamento do lixiviado bruto por coagulação/floculação e POA solar

• **Data de entrada:**
15/03/2018

Treatment of raw leachate by coagulation/flocculation and solar AOP




• **Data de aprovação:**
26/12/2018

Mariana Maciel Almeida de Andrade^{1*} | Camila de Almeida Porto¹ |
Elisângela Maria Rodrigues Rocha² | Erika Lima Silva¹ | Larissa Granjeiro Lucena³

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.049>

ORCID ID

Andrade MA  <https://orcid.org/0000-0002-2436-3610>
Porto CA  <http://orcid.org/0000-0002-1129-2796>

Rocha EMR  <https://orcid.org/0000-0001-7024-6979>
Silva EL  <http://orcid.org/0000-0001-9754-4933>
Lucena LG  <https://orcid.org/0000-0003-1246-4104>

Resumo

O presente trabalho avaliou a eficiência do pré-tratamento do lixiviado bruto de aterro sanitário por coagulação/floculação seguido do processo oxidativo homogêneo solar (H_2O_2/UV). Foram realizados ensaios em Jar-Test, com o $Al_2(SO_4)_3$ e o $FeCl_3$, a fim de determinar as melhores condições para a coagulação/floculação, tendo como variáveis-resposta: a remoção de cor verdadeira e turbidez. Em seguida, a melhor condição de cada coagulante foi submetida ao processo H_2O_2/UV solar, sendo as amostras avaliadas quanto a cor verdadeira, turbidez e DQO_{total} . Na combinação da coagulação/floculação com $Al_2(SO_4)_3$ ($600 mgAl^{2+}L^{-1}$, pH 5), seguida pelo processo H_2O_2/UV solar, conseguiram-se remoções de 95,26% de cor verdadeira, 69,36% de turbidez e 53,92% DQO_{total} . Já o processo com $FeCl_3$ ($450 mgFe^{3+}L^{-1}$, pH 4) seguido por H_2O_2/UV solar obteve remoções de 97,01% de cor, 79,57% de turbidez e 62,85% de DQO_{total} . Concluiu-se que o tratamento utilizado foi eficiente, podendo auxiliar na aplicação posterior de um tratamento biológico.

Palavras-chave: Tratamento físico-químico. $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$.

Abstract

The present study sought to evaluate the efficiency of pre-treatment of raw landfill leachate by coagulation/flocculation followed by homogenous solar oxidative process (H_2O_2/UV). Tests were performed in Jar-Test, using $Al_2(SO_4)_3$ and $FeCl_3$ as coagulants, in order to determine the best conditions for the coagulation/flocculation process, having as response variables: color and turbidity removal. Then, the best condition of each coagulant was applied in conjunction with solar H_2O_2/UV . Color, turbidity and the COD_{TOTAL} were evaluated. The combination of coagulation/flocculation with $Al_2(SO_4)_3$ ($600 mgAl^{2+} L^{-1}$, pH 5) and solar H_2O_2/UV resulted in removals of 95.26% color, 69.36% turbidity and 53.92% COD. Whereas, in the process with $FeCl_3$ ($450 mgFe^{3+} L^{-1}$, pH 4) followed by process solar H_2O_2/UV , removals of 97.01% color, 79.57% turbidity and 62.85% of COD were achieved. This work concludes that the treatment tested was effective, being able to aid the subsequent application of a biological treatment.

Keywords: Physical-chemical treatment. $Al_2(SO_4)_3$, $FeCl_3$.

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

² Universidade Federal da Paraíba (UFPB) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

³ Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autora correspondente:** mariana_andrade_94@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos na atualidade tem aumentado em decorrência do crescimento urbano aliado aos padrões de consumo da população. Conforme a Lei 12.305/10, que dispõe sobre a Política Nacional de Resíduos Sólidos, as cidades brasileiras devem dispor seus resíduos sólidos de forma ambientalmente correta nos aterros sanitários. Nesses locais, os resíduos são decompostos, dando origem a um líquido de constituição variada e complexa, denominado lixiviado ou chorume.

Os lixiviados de aterro sanitário possuem como características principais: elevado potencial de contaminação, cor escura, odor desagradável e presença de elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal e compostos orgânicos de difícil degradação. Devido à variabilidade e concentração do lixiviado, a aplicação de determinadas condições de uma mesma tecnologia de tratamento nem sempre pode ser utilizada em outra posição (RENOU et al., 2008; MÁXIMO, 2007).

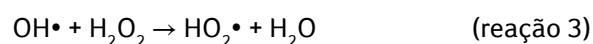
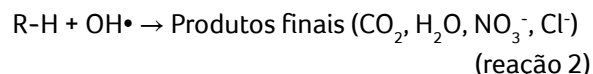
A forma mais comum de tratamento de lixiviados de aterro sanitário são os processos biológicos. Entretanto, o efluente final desse tipo de tratamento não atende aos padrões de lançamento estabelecidos pela legislação brasileira (GOMES et al., 2009; MORAVIA, 2010). Além disso, o tratamento biológico apresenta baixa eficiência para o tratamento de lixiviados de aterro em fase madura, que já atingiram certo grau de estabilização e possuem maior recalcitrância (AMOKRANE et al., 1997; MANARÓN et al., 2008).

Para o tratamento de lixiviados antigos, são recomendados os processos físico-químicos, como a coagulação e a floculação, capazes de remover metais pesados e compostos orgânicos não-biodegradáveis (MÁXIMO, 2007; OLIVEIRA, 2015).

Os Processos Oxidativos Avançados também se apresentam como alternativa para o tratamento de lixiviados antigos, visto que podem minerali-

zar a matéria orgânica, transformando-a em gás carbônico, água e íons inorgânicos. Esses processos envolvem a geração e o uso de oxidantes fortes como os radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) e utilizam radiação solar ou proveniente de fontes artificiais (lâmpadas), sendo os processos mais comuns $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, TiO_2/UV , $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$, Fenton e foto-Fenton (AZBAR et al., 2004; VOGELPOHL & KIM, 2004; MASSAROTTO, 2010).

A fotodegradação homogênea ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) funciona por meio da quebra da molécula de H_2O_2 pela ação da radiação UV, que gera dois radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) (reação 1). Esses radicais atuam na degradação da matéria orgânica e formam compostos mais simples (reação 2). Caso o H_2O_2 esteja em excesso, ocorre ainda uma reação paralela, que captura os radicais hidroxila (reação 3) (ARAÚJO e YOKAMA, 2006).



A oxidação com ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$) é uma técnica de elevado potencial, que já teve sua eficiência comprovada para degradação de diversos tipos de efluente (HASSEMER, 2006; SUBTIL et al., 2009; WOLS et al., 2013). A utilização de energia solar para o processo resulta em uma redução de custos se comparados àqueles que utilizam fonte de radiação artificiais (ROBERT e MALATO, 2002).

A presente pesquisa buscou avaliar um sistema combinado de tratamento para o lixiviado bruto do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), localizado no Estado da Paraíba (Brasil), formado por uma etapa inicial de coagulação/floculação, seguida por processo oxidativo homogêneo solar ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$).

2 METODOLOGIA

2.1 Coleta e caracterização do lixiviado

A coleta do lixiviado bruto foi realizada no mês de outubro de 2016, na entrada do sistema de lagoas do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa - ASMJP, que recebe resíduos sólidos domésticos e industriais de sete municípios da região metropolitana de João Pessoa (João Pessoa, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita, Conde, Cruz do Espírito Santo e Lucena). O aterro está em operação desde 2003, e durante o período de realização do estudo recebia uma carga média de 50.000 toneladas/mês de resíduos.

As análises de caracterização físico-química (pH, cor verdadeira, turbidez, condutividade, alcalinidade total, amônia, nitrato, cloretos, DBO, DQO_{total}, série de sólidos) do lixiviado (Tabela 1) foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Wastes and Wastewater* (APHA, 2005).

Tabela 1 - Caracterização físico-química do lixiviado bruto coletado em outubro/2016.

Parâmetros	Resultado	Método
pH	8,15	Eletrométrico
Cor verdadeira (mgPt-Co L ⁻¹)	7.233	Platinum-Cobalto
Turbidez (NTU)	217,00	Nefelométrico
Condutividade (mS/cm)	22,72	Eletrométrico
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ L ⁻¹)	11.900,00	Titulação Potenciométrica
Amônia (mgN-NH ₃ L ⁻¹)	2.005,00	Fotométrico da Nesslerização Direta
Nitrato (mgN-NO ₃ L ⁻¹)	6,35	
Cloretos (mgCl ⁻ L ⁻¹)	3.867,82	Argentométrico
DBO ₅ (mgO ₂ L ⁻¹)	207,00	Respirométrico
DQO _{total} (mgO ₂ L ⁻¹)	5.088,04	Refluxo fechado e colorimétrico
DBO ₅ /DQO _{total}	0,05	
Sólidos Totais (mg L ⁻¹)	13.070,00	Gravimétrico
Sólidos Totais Voláteis (mg L ⁻¹)	2.733,33	
Sólidos Totais Fixos (mg L ⁻¹)	10.336,67	

2.2 Procedimento experimental

2.2.1 Coagulação/floculação

Os coagulantes testados foram Al₂(SO₄)₃ e FeCl₃ (marca Dinâmica). Os ensaios foram realizados

conforme a técnica do planejamento fatorial com dois fatores e dois níveis (2²), adotando-se as seguintes variáveis de entrada: concentração de coagulante e pH, com o objetivo de definir as melhores condições para o processo de coagulação/floculação (Tabela 2).

Tabela 2 - Variáveis e níveis do planejamento fatorial 2² para o tratamento do lixiviado por coagulação/floculação com Al₂(SO₄)₃ e FeCl₃

	NÍVEL INFERIOR (-1)	PONTO CENTRAL (0)	NÍVEL SUPERIOR (+1)
C*	300	450	600
pH	3	4	5

*C = concentração em mgAl²⁺ L⁻¹ ou mgFe³⁺ L⁻¹ de acordo com o respectivo ensaio.

Os coagulantes foram adicionados em solução com água destilada e as condições de mistura utilizadas foram determinadas em outro estudo realizado anteriormente (dados não apresentados), no qual foram testados os melhores tempos e velocidades para o processo de coagulação. Com base nesse estudo, o tempo de mistura rápida (coagulação) foi de 1 minuto e o de mistura lenta (floculação) correspondeu a 30 minutos. As velocidades foram de 90 rpm e 20 rpm para coagulação e floculação, respectivamente. Os ensaios de coagulação/floculação foram realizados em equipamento Jar-test, marca Ética. As variáveis resposta para esta etapa foram: remoção de cor verdadeira e turbidez.

2.2.2 Tratamento combinado: coagulação/floculação combinado a H₂O₂/UV solar

O tratamento combinado se deu em duas etapas. Na primeira, foram realizados ensaios de coagulação/floculação nas melhores condições obtidas nos ensaios da seção anterior. Os experimentos utilizando Al₂(SO₄)₃ e FeCl₃ foram denominados experimentos A e B, respectivamente. Na segunda etapa, as amostras foram submetidas ao processo de fotólise direta e (H₂O₂/

UV solar), por um tempo de reação de 2 horas. É importante destacar que na segunda etapa foram realizados ensaios com amostra de lixiviado bruto (experimentos 1 e 2), com o sobrenadante

do experimento A (experimentos 3 e 4) e com o sobrenadante do experimento B (experimentos 5 e 6). A representação esquemática dos experimentos está apresentada na Fig. 1.

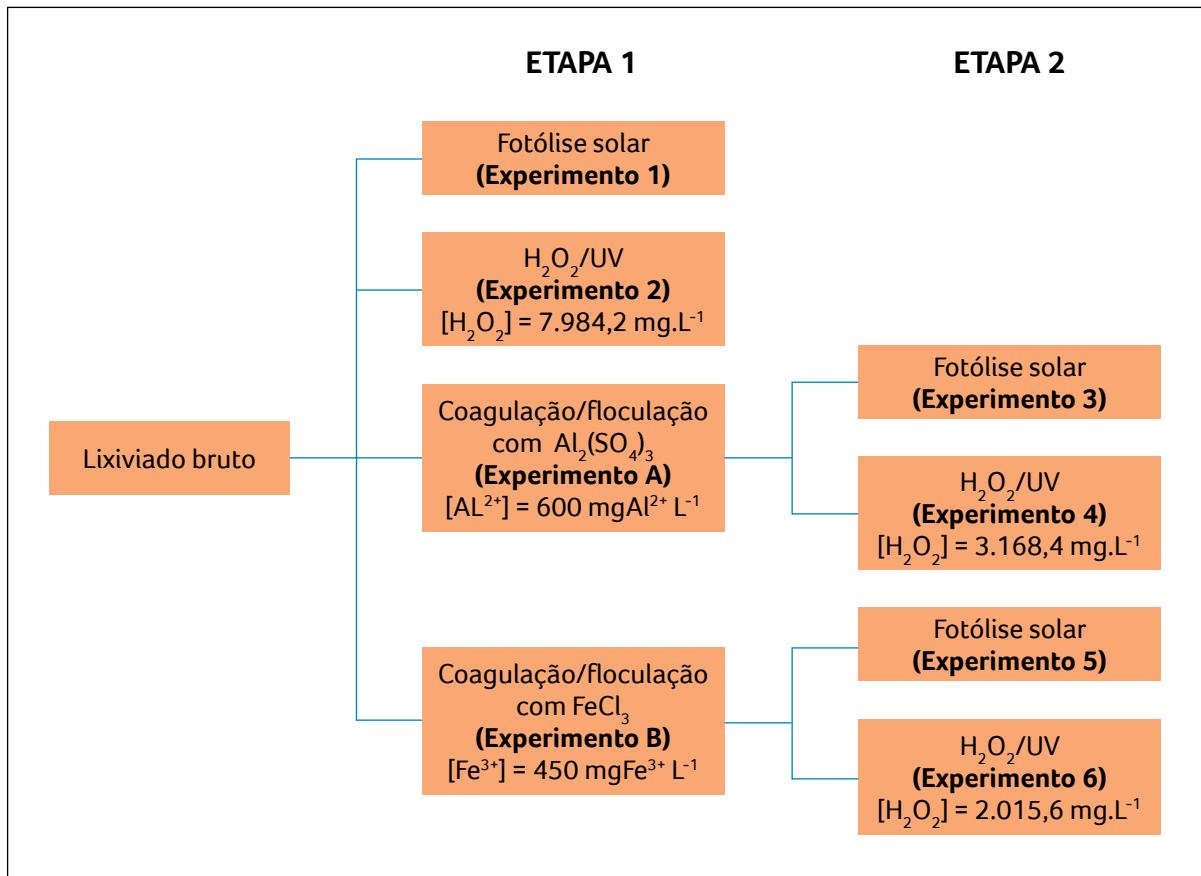


Figura 1 – Representação esquemática dos experimentos realizados

O fator de H_2O_2 utilizado foi de 0,7, determinado com base nos estudos de Cahino (2015). Para determinar a concentração de H_2O_2 correspondente ao fator utilizado, realizou-se previamente a análise de DQO_{total} das amostras pré-tratadas por coagulação/floculação. O cálculo da concentração inicial necessária de H_2O_2 foi determinado conforme a Eq. 1 (MORAVIA, 2010), na qual o fator é obtido com base na relação estequiométrica entre a quantidade de O_2 produzida para cada mol de H_2O_2 . Cada grama de O_2 é responsável por estabilizar um grama de DQO da amostra utilizada.

$$[H_2O_2] = fator \times 2,125 \times DQO_{amostra} \quad (1)$$

Antes da exposição ao sol, o pH das amostras foi corrigido para próximo de 9, utilizando NaOH 6N, conforme a condição utilizada por Cahino (2015). As amostras, cada uma com volume de 100 mL, foram expostas à radiação solar por 2h em mesa agitadora Orbital SL 180/D, com agitação de 100 rpm. Todas as amostras foram submetidas ao sol simultaneamente, no período das 12h à 14h, cuja radiação foi em média 3008 kJ.m², conforme dados do INMET.

Após a retirada das amostras do sol, as mesmas foram aquecidas a 50°C em banho-maria Solab SL 150, por 30 minutos, para remover o residual do H₂O₂ (WU et al., 2010). Em seguida foram feitas análises de H₂O₂ residual (método iodométrico), DQO_{total} (método colorimétrico), cor verdadeira (metodologia do número de cor) e turbidez (método nefelométrico). A interferência do H₂O₂ residual devido à presença de moléculas de O₂ foi subtraída na DQO_{total} das amostras. Ressalta-se ainda que foram realizadas análises de DBO das amostras, porém a leitura do resultado não foi possível, provavelmente devido à presença de H₂O₂ residual.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As características físico-químicas observadas no lixiviado estudado (Tabela 1) foram típicas de efluente proveniente de aterros sanitários esta-

bilizados, como pH>7 e razão DBO5/DQO_{total}<0,1 (AMOKRANE et al., 1997). O valor de DQO_{total} levemente superior a 5000 mg.O₂.L⁻¹ caracteriza a transição entre aterros de idade intermediária e aqueles já estabilizados. Em virtude dessas características, o tratamento biológico é pouco eficaz. O lixiviado ainda possuía forte coloração devido à grande quantidade de sólidos dissolvidos. O elevado valor de alcalinidade pode estar relacionado à presença de resíduos de construção civil, como cimento e cal (MORAVIA, 2010). A alcalinidade do meio auxilia na ação dos coagulantes empregados (NUNES, 2001).

3.1 Coagulação/floculação

As eficiências de remoção dos parâmetros turbidez e cor verdadeira pelo processo de coagulação/floculação com Al₂(SO₄)₃ e com FeCl₃ estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Remoção de turbidez e cor verdadeira do lixiviado bruto por processo de coagulação/floculação com Al₂(SO₄)₃ e com FeCl₃

Amostra	Planejamento				Al ₂ (SO ₄) ₃		FeCl ₃	
	C (mg.L ⁻¹)		pH		Turbidez (% de remoção)	Cor (% de remoção)	Turbidez (% de remoção)	Cor (% de remoção)
	Nível	Valor	Nível	Valor				
1	-	300	-	3	-61,24	12,06	36,67	64,19
2	+	600	-	3	-17,26	26,19	84,31	82,29
3	-	300	+	5	46,39	64,09	37,20	52,12
4	+	600	+	5	71,43	85,08	76,27	83,59
5	0	450	0	4	49,36	62,51	86,47	86,19
6	0	450	0	4	48,09	63,18	85,69	85,35
7	0	450	0	4	42,72	56,30	70,59	86,13

C= Concentração e Nível= nível do planejamento fatorial

Nos ensaios realizados com Al₂(SO₄)₃, as amostras 1 e 2, ambas com pH 3, apresentaram um valor de turbidez final 61,24% e 17,26%, respectivamente, superior ao valor da amostra bruta (217 NTU), indicando que esse pH é desfavorável para o processo de coagulação/floculação com Al₂(SO₄)₃ nas concentrações testadas, ocorrendo

baixa decantação e causando interferência na aferição da turbidez. O ensaio 4 (600mgAl²⁺ L⁻¹, pH 5) obteve os melhores resultados de remoção: 71,43% de turbidez e 85,08% de cor verdadeira.

O tratamento com FeCl₃ apresentou boas remoções de cor verdadeira para os 3 (três) valores de

pH testados, com resultados superiores a 52%. As amostras do ponto central (5, 6, 7) com $450 \text{ mgFe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ e pH 4 tiveram remoção de cor verdadeira acima de 85%, e valor de turbidez equivalente a remoções superiores a 70%. As remoções alcançadas se aproximaram daquelas obtidas por Manarón et al. (2008) utilizando $400 \text{ mgFe}^{3+} \text{ L}^{-1}$ e pH 3,8, ressaltando-se que foi utilizado um lixiviado jovem, diferentemente do caso do presente trabalho, que fez uso de um lixiviado antigo.

Ao comparar os dois coagulantes investigados, observou-se que o cloreto férrico apresentou melhores remoções para as combinações testadas que o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Os resultados corroboram os estudos de Tatsi et al. (2003) e Manarón et al. (2008), que observaram que a coagulação/floculação com FeCl_3 requer menores dosagens que o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, conseguindo resultados de remoções similares. Chaouki et al. (2016) e Rui et al. (2012) também concluíram em seus estudos

que o FeCl_3 é mais eficiente para a coagulação/floculação do lixiviado.

3.2 Tratamento combinado: coagulação/floculação combinado a $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ solar

Nessa etapa, observou-se que no lixiviado tratado apenas pelo processo de coagulação-floculação, utilizando o $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, as eficiências de remoção de turbidez, cor verdadeira e $\text{DQO}_{\text{TOTAL}}$ foram, respectivamente, 50,50%, 85,47% e 51,70% (experimento A), e no pré-tratamento com FeCl_3 foram de 54,47%, 87,30% e 57,29% (experimento B). Na Fig. 2 são apresentados os percentuais de remoção para cada um dos experimentos. Ressalta-se que o experimento 1 (fotólise solar) não foi incluído no gráfico por apresentar remoções inferiores a 5% para todos os parâmetros testados.

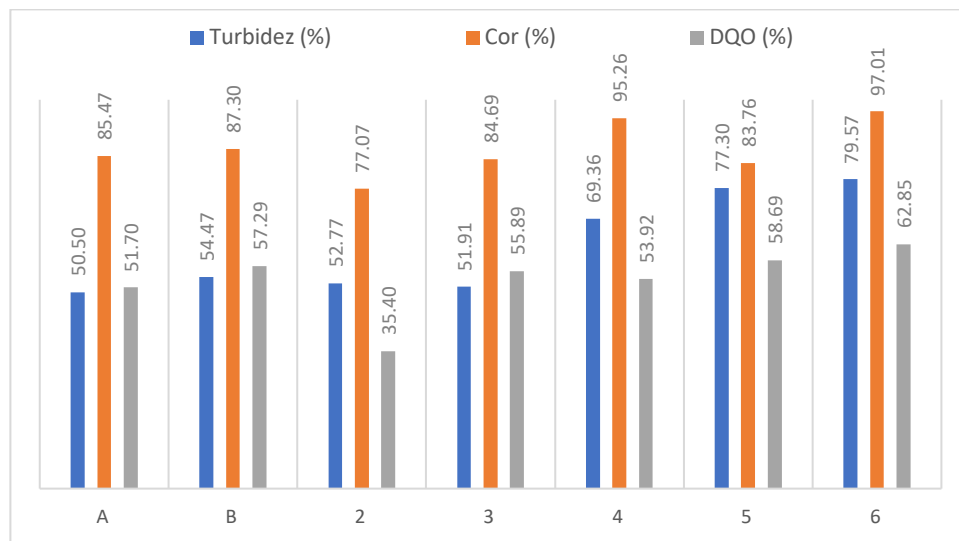


Figura 2 – Remoção da turbidez, cor e $\text{DQO}_{\text{total}}$ nas amostras tratadas por coagulação/floculação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (A), coagulação/floculação com FeCl_3 (B), fotólise solar (1), $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ solar (2), coagulação/floculação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + fotólise solar (3), coagulação/floculação com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ solar (4), coagulação/floculação com FeCl_3 + fotólise solar (5), coagulação/floculação com FeCl_3 + $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ solar (6).

Ao analisar o tratamento do lixiviado bruto pelo processo H_2O_2 /UV solar (experimento 2), observaram-se bons resultados na remoção de cor verdadeira (77,07%) e turbidez (52,77%), porém, na remoção de DQO_{total} , a eficiência máxima foi de 35,40%. Essa baixa remoção de DQO_{total} utilizando apenas H_2O_2 /UV solar foi inferior ao valor encontrado por Cahino (2015), que alcançou remoções 51,89%, aplicando esse mesmo processo oxidativo, porém em um lixiviado previamente tratado biologicamente, o que pode ter reduzido a presença de compostos como sulfatos que são sequestradores de radicais hioxilas. Pieczykolan et al. (2012) obtiveram uma remoção de 74,6% de DQO_{total} com $[H_2O_2] = 3000 \text{ mg.L}^{-1}$, em pH 4, em lixiviados de aterros sanitários jovens, portanto com carga orgânica inicial inferior à deste experimento.

No tratamento combinado por coagulação/floculação com $Al_2(SO_4)_3$ e H_2O_2 /UV solar (experimento 4), os resultados de remoção de turbidez (69,36%) e de cor verdadeira (95,26%) foram melhores em relação aos tratamentos isolados: H_2O_2 /UV solar ou coagulação/floculação aplicados ao lixiviado bruto. A remoção de DQO_{total} foi de 53,92%. Jeronimo et al. (2012) conseguiram remover a DQO_{total} em 80% utilizando 100 mg.L^{-1} do $Al_2(SO_4)_3$ em pH 3, e uma relação de 1L de efluente para 0,1L de H_2O_2 (102 g/L), durante 120 minutos de radiação proveniente de lâmpada UV. No entanto, por se tratar de um lixiviado antigo, há grandes quantidades de substâncias húmicas (SOUZA, 2005), o que pode ter dificultado a degradação do lixiviado bruto.

É importante ressaltar que antes do processo oxidativo (H_2O_2 /UV solar) a DQO_{total} da amostra utilizada no experimento 4 já havia se reduzido em 51,70% (experimento A), devido somente ao processo de coagulação/floculação com $Al_2(SO_4)_3$. Assim, a remoção de DQO_{total} provocada pela combinação dos processos foi mínima. Isso pode ser justificado pelo baixo consumo de H_2O_2 .

Ao analisar o residual de H_2O_2 no experimento 4, observou-se que restaram $697,21 \text{ mg.L}^{-1}$ do oxidante, enquanto no experimento 2 o residual foi de $51,02 \text{ mg.L}^{-1}$. Pode ter ocorrido inibição do processo, conforme observado por Ferreira Júnior et al. (2008), os quais concluíram em seus estudos que, na presença de radiação UV, os íons sulfatos inibem a decomposição do H_2O_2 . Dessa forma, os íons sulfatos resultantes da adição do $Al_2(SO_4)_3$ podem ter reduzido a quantidade de radicais ($\cdot OH$) gerados a partir da quebra do H_2O_2 , consequentemente impedindo a decomposição da matéria orgânica.

No tratamento combinado por coagulação/floculação utilizando o $FeCl_3$ e H_2O_2 /UV solar (experimento 6), observou-se elevada remoção de cor verdadeira (97,01%) e boas remoções de turbidez (79,57%) e DQO_{total} (62,85%). No entanto, a remoção de DQO_{total} foi predominante do processo de coagulação/floculação (experimento B), visto que a amostra tratada por esse processo apresentou uma remoção de 57,29% de DQO_{total} . De forma análoga, Silva (2009) observou que a reação de coagulação/floculação prevaleceu sobre a oxidação química quando aplicado o reagente Fenton.

Verificou-se também que o residual de H_2O_2 ($680,20 \text{ mg.L}^{-1}$) foi maior em relação à amostra tratada apenas pelo processo H_2O_2 /UV solar ($51,02 \text{ mg.L}^{-1}$), comportamento semelhante ao processo combinado com $Al_2(SO_4)_3$, e provavelmente tenha ocorrido a inibição do processo.

4 CONCLUSÕES

O pré-tratamento físico-químico por coagulação/floculação combinado com o processo oxidativo homogêneo H_2O_2 /UV solar apresentou boas remoções de turbidez (69-80%) e cor verdadeira (> 95%), para ambos os coagulantes. Além disso, houve remoções de DQO superiores a 50%. Isso

favorece um tratamento posterior empregando processos biológicos aeróbios ou facultativos.

O processo proposto é uma alternativa como pré-tratamento para o lixiviado bruto, que deve ser utilizado em conjunto com outros processos que possibilitem maior remoção da carga orgânica do efluente, para adequá-lo ao lançamento em corpos hídricos receptores.

5 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

6 REFERÊNCIAS

- AMOKRANE, A.; COMEL, C.; VERON, J. Landfill leachate pre-treatment by coagulation–flocculation. **Water Resources**, v. 31, n. 11, p. 2775–2782, 1997. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(97\)00147-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(97)00147-4)
- APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19ª Ed. American Public Health Association, Washington, DC, 2005.
- ARAÚJO, F. V. F.; YOKOHAMA, L.; Remoção de cor em soluções de corantes reativos por oxidação com H₂O₂/UV. **Química Nova**, v.29, n. 1, p. 11-14, 2005. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422006000100003>
- AZBAR, N.; YONAR, T.; KESTIOGLU, K. Comparison of various advanced oxidation processes and chemical treatment methods for COD and color removal from polyester and acetate fiber dyeing effluent. **Chemosphere**, v. 55, n. 1, p. 35–43, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2003.10.046>
- CAHINO, A. M. **Estudo do processo de fotodegradação solar por UV/H₂O₂ no tratamento de lixiviado oriundos de lagoas de estabilização**. 2015. 62p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Eng. Ambiental). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
- CHAOUKI, Z. et al. Use of coagulation–flocculation process for the treatment of the landfill leachates of Casablanca city (Morocco). **Journal of Materials and Environmental Sciences**, v. 8, n. 8, p. 2781–2791, out. 2016.
- FERREIRA JR, J.; TROVO, A. G.; NOGUEIRA, R. F. P. Influência dos íons sulfato e cloreto na decomposição de H₂O₂ na presença de íons ferro. In: 31ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química, 2008, Águas de Lindóia. **Anais...**
- GOMEZ, L. P. (coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009
- HASSEMER, M. E. N. **Oxidação fotoquímica - UV/H₂O₂ para degradação de poluentes em efluentes da indústria têxtil**. 2006. 175p. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.
- JERÔNIMO, C. E. Uso de técnicas combinadas para o tratamento de efluentes têxteis: separação físico-química e fotodegradação UV- H₂O₂. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1626–1638, 2012. <http://dx.doi.org/10.5902/2236117062444>
- MANARÓN, E.; CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; FERNÁNDEZ-MENDEZ, A.; FERNÁNDEZ-SANCHEZ, A. Coagulation–flocculation as a pretreatment process at a landfill leachate nitrification–denitrification plant. **Journal of Hazardous Materials**, v. 156, p. 538–544, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.12.084>
- MASSAROTTO, W. L. **Avaliação de tecnologias para tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. 2010. 113 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, 2010.
- MÁXIMO, V. A. **Tratamento por coagulação–floculação dos lixiviados gerados no aterro da região metropolitana de Florianópolis**. 186 p., Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
- MORAVIA, W. G. **Avaliação do tratamento de lixiviado de aterro sanitário através de processo oxidativo avançado conjugado com sistema de separação por membranas**. 2010. 237 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- OLIVEIRA, Z. L. **Lixiviado de aterro sanitário tratados com extratos de moringa oleífera Lam isolados e combinados com abelmoschus esculentus L.Moench e biossurfactante**. 2015. 166p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2015.
- PIECZYKOLAN, B.; BARBUSIŃSKI, K.; PŁONKA, I. COD removal from landfill leachate using H₂O₂, UV radiation and combination these processes. **Environment Protection Engineering**, v. 38, n. 6, p. 5–13, 2012. <http://doi.org/10.5277/EPE120301>
- RENOU, S. et al. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, p. 468–493, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.077>
- RICHTER, C. A **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo. Blucher, 2009.
- RUI, L. M.; DAUD, Z.; LATIFF, A. A. A. Coagulation–Flocculation In Leachate Treatment By Using Ferric Chloride And Alum As Coagulant. **International Journal of Engineering Research and Applications**, v.2, n. 4, p. 1929–1934, jul-ago. 2012.

SILVA, F. B. **Tratamento combinado de lixiviados de aterros sanitários**. 2009. 118p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, G. **Monitoramento de Parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterro sanitários – Estudo em piloto experimental**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, 2005.

SUBTIL, E. L.; MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. Avaliação do desempenho do sistema UV/H₂O₂ no tratamento de efluentes provenientes do processo de tratamento térmico de emulsões de água e óleo. **Ambi-Agua**, v. 4, n. 3, p. 169-180, 2009. <http://doi.org/10.4136/ambi-agua.110>

TATSI, A.A. et al. Coagulation–flocculation pretreatment of sanitary landfill leachates. **Chemosphere**, 53, p. 737-744, 25 abr. 2003. [https://dx.doi.org/10.101/S0045-6535\(03\)00513-7](https://dx.doi.org/10.101/S0045-6535(03)00513-7)

VOGELPOHL, A., KIM, S.M., Advanced oxidation processes AOPs in wastewater treatment. **Journal of Industrial and Engineering Chemistry**. v. 10, p. 33-40. 2004. <https://doi.org/10.1007/s40726-015-0015-z>

WOLS, B. A. et al. Degradation of 40 selected pharmaceuticals by UV/H₂O₂. **Water research**, v. 47, p. 5876-5888, 2013. <https://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.008>

WU, Y. et al. Modeling physical and oxidative removal properties of Fenton process for treatment of landfill leachate using response surface methodology (RSM). **Journal of hazardous materials**, v. 180, n. 1-3, p. 456-65, 15 ago. 2010. <http://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.04.052>