

## II-329 - COMBINAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS NA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E COR DE LIXIVIADO BRUTO

### **Elisângela Rodrigues Rocha<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista. Mestre em Engenharia Civil/Geotecnia Ambiental pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutora em Engenharia Civil/Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC), com estágio doutoramento na Universidade de Porto, Portugal. Professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Membro efetivo do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECAM/UFPB). Coordenadora do Curso de Engenharia Ambiental da UFPB.

### **Samara Teixeira Pereira<sup>(2)</sup>**

Engenheira Ambiental e de Segurança do Trabalho. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB. Doutoranda em Engenharia Civil e Ambiental na UFPB.

### **Giulia Beatriz Mota da Silva<sup>(3)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental na UFPB.

### **Tallyson Tavares Cunha de Souza<sup>(4)</sup>**

Graduando em Engenharia Ambiental na UFPB.

### **Elson Santos da Silva<sup>(5)</sup>**

Engenheiro Ambiental. Técnico do Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia da UFPB. Mestre em Energias Renováveis pela UFPB.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Loteamento Cidade Universitária, Campus I, João Pessoa – PB – Brasil - Tel CEP: 58051-900. Sala CTJ 208. Tel: (83) 3216 – 7270. e-mail: elis\_eng@yahoo.com.br

## **RESUMO**

O lixiviado de aterro sanitário apresenta elevada presença de matéria orgânica recalcitrante, cor, nutrientes, amônia, cloretos e alcalinidade, conferem a esse tipo de efluente, condições de baixa biodegradabilidade, o que pode inviabilizar o seu tratamento por métodos biológicos convencionais. Os processos oxidativos avançados (POAs), vêm sendo explorados como alternativas promissora no tratamento de lixiviado, uma vez que, esses processos são os responsáveis pela geração de radicais hidroxila que são espécies não seletivas, capazes de degradar compostos mais resistentes. Diante disso, o presente trabalho objetivou avaliar o potencial de tratamento para lixiviado bruto na remoção de cor e DQO, a partir do processo conjugado  $TiO_2/UV-A$  seguido  $H_2O_2/UVsolar$  (rota TH) e  $H_2O_2/UVsolar$  aplicado diretamente no lixiviado bruto (rota H). O objeto de estudo foi o lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), criado em 05/08/2003. Para avaliar a eficiência da remoção de cor e DQO das rotas de tratamentos compostas por aplicações de formas conjugadas e isoladas dos POAs, foram realizados testes experimentais em escala laboratorial sob diferentes condições de tempo e concentração de reagentes. Os resultados encontrados apontaram que, as rotas de tratamento TH e H removeram, aproximadamente 70% da cor do lixiviado e 30% de DQO, não sendo encontradas diferenças expressivas entre as rotas testadas. Entretanto, o processo isolado H pode ser considerado o mais eficiente com menor tempo de tratamento e dispensando a fase artificial, mas tem-se a necessidade de otimização do processo para garantia de uma maior eficiência de degradação dos compostos recalcitrantes, em termos de DQO.

**PALAVRAS-CHAVE:** Remoção de cor e DQO, Efluentes recalcitrantes, Tratamento avançado.

## **INTRODUÇÃO**

O lixiviado possui elevada complexidade sendo formado pela solução do chorume e água de origem superficial (chuva ou escoamento) ou subterrânea (infiltração), e em consequência das decomposições físicas, químicas e microbiológicas ocorridas no interior das células dos aterros (CHRISTENSEN *et al.*, 2001).

A elevada presença de matéria orgânica recalcitrante, cor, nutrientes, amônia, cloretos e alcalinidade, conferem a esse tipo de efluente, condições de baixa biodegradabilidade, o que pode inviabilizar o seu tratamento por

métodos convencionais (MORAVIA, 2010; ASGHAR; ABDUL; WAN DAUD, 2015).

Diante disso, os processos físico-químicos são alternativas capazes de degradar ou promover a completa mineralização dos poluentes refratários presentes no lixiviado. Nesse contexto, os processos oxidativos avançados (POAs), vêm sendo explorados como alternativas promissoras, uma vez que, esses processos são os responsáveis pela geração de radicais hidroxila que são espécies não seletivas, capazes de degradar compostos mais resistentes (DOUMIC *et al.*, 2015).

A geração dos radicais hidroxila pode ocorrer pela utilização de agentes oxidantes fortes, tais como, o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e catalisadores semicondutores, como o dióxido de titânio ( $TiO_2$ ), combinados com a radiação ultravioleta (UV).

No processo  $H_2O_2/UV$ , a radiação UV, sobretudo, a UV-solar nos comprimentos de onda inferiores a 280 nm, quebra a molécula de  $H_2O_2$  em dois radicais hidroxila (CASTRO, 2004; TEIXEIRA; JARDIM, 2004). O POA  $H_2O_2/UV$ , tem sido aplicado com sucesso no tratamento de efluentes, devido ao custo acessível e a versatilidade do oxidante  $H_2O_2$  e a não conversão em lodo, na degradação dos compostos orgânicos em meio aquoso (KASIRI; KATHAEE, 2011; SHU *et al.*, 2006; ROCHA *et al.*, 2010).

A geração dos radicais hidroxila, no processo  $TiO_2/UV$ , se dá através das reações redox induzidas por radiação UV, na superfície da partícula do  $TiO_2$  (TEIXEIRA, 2002). O  $TiO_2$  é um catalisador de baixo valor econômico, não-tóxico, possui estabilidade química em uma ampla faixa de pH e pode ser excitado, relativamente, com energia baixa de 3,2 eV, como a radiação UV-A (320-380 nm) (CHONG *et al.*, 2010; ZHANG *et al.*, 2005; COSTA *et al.*, 2013).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou avaliar o potencial de tratamento para lixiviado bruto na remoção de cor e DQO, a partir do processo conjugado  $TiO_2/UV$ -A seguido  $H_2O_2/UV$ solar (rota TH) e  $H_2O_2/UV$ solar aplicado diretamente no lixiviado bruto (rota H).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O objeto de estudo foi o lixiviado bruto proveniente do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), que está em operação desde o ano de 2003.

No POA  $TiO_2/UV$ -A, utilizou-se a concentração de  $200 \text{ mg.L}^{-1}$  do  $TiO_2$  P25, Degussa ( $TiO_2$  de 70% anatase). No processo  $H_2O_2/UV$ -solar, a concentração inicial do peróxido de hidrogênio ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) foi com base na DQO do lixiviado utilizado. Teoricamente, sabe-se que 2 mols de  $H_2O_2$  produzem 1 mol de oxigênio, sendo assim, cada grama de oxigênio servirá para estabilizar um grama de DQO, logo, a concentração de peróxido de hidrogênio foi determinada pela Equação 1 (MORAVIA, 2010). O fator estequiométrico de  $H_2O_2$  foi determinado de acordo com os estudos realizados por Cahino (2015), o qual foi adotado 0,7.

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

O tratamento do lixiviado, em escala de bancada, teve início a adição do  $TiO_2$ , em 150 mL de amostra de lixiviado, sendo exposta a 60 minutos de irradiação artificial, através de fotorreator com luz UV-A (Figura 1A). Em seguida, as amostras pré-tratadas pelo processo  $TiO_2/UV$ -A e com lixiviado bruto, seguiram para o processo  $H_2O_2/UV$ -solar, com a adição de  $H_2O_2$ , em dosagem única, com 120 minutos de exposição solar, por meio de mesa agitadora, com agitação constante de 100 rpm (Figura 1B). A eficiência dos processos foi analisada quanto a remoção de cor, pelo número de cor (NC) e DQO, pelo método Colorimétrico por refluxo fechado (PRIMO; RIVERO; ORTIZ, 2008; APHA; AWWA; WEF, 2012).

É importante salientar que buscou-se realizar os testes de POA/UV-solar em horários de maior incidência solar, entre às 10h e às 14h, ocorrendo em dias de baixa nebulosidade, sendo os dados de radiação solar média, provenientes do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2017). A estação meteorológica do INMET é do tipo automática (João Pessoa-A320; Código OMM: 81918; Registro: 19 UTC) e está localizada no Núcleo de Processamento de Alimentos do *campus* I da UFPB.

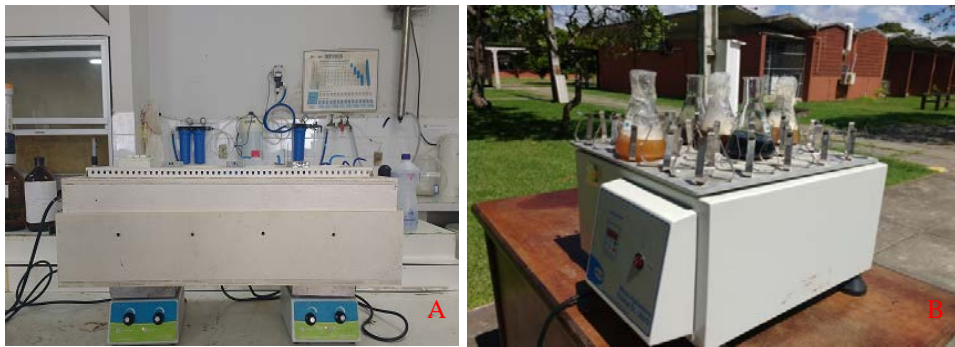


Figura 1: Sequência dos processos de tratamento de lixiviado em escala de bancada. A) Fase artificial com o processo  $\text{TiO}_2/\text{UV}$  em Fotorreator com lâmpadas UV-A. B) Fase solar com o processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ -solar em mesa agitadora.

## RESULTADOS

A Figura 2 apresenta os percentuais de remoção de cor e DQO. O valor inicial de cor foi de 8988,79 mg/LPt-Co e após o processo conjugado  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ -A seguido do  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ -solar (TH), obteve-se o valor de 2337,1 mg/LPt-Co, o que representa eficiência de remoção de 74%. Após o tratamento com o processo  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ -solar (H), aplicado diretamente no lixiviado bruto, o resultado encontrado foi de 2426,97 mg/LPt-Co, representando descoloração de 73%, como mostra a Figura 2A.

Em relação a DQO (Figura 2B), o valor inicial do lixiviado bruto foi de 4889,72  $\text{mg.L}^{-1}$ . Após o tratamento as eficiências de remoção de DQO obtidas foram de 35% (3276,11  $\text{mg.L}^{-1}$ ) para a rota TH e 33% (3276,11  $\text{mg.L}^{-1}$ ) para a rota H.

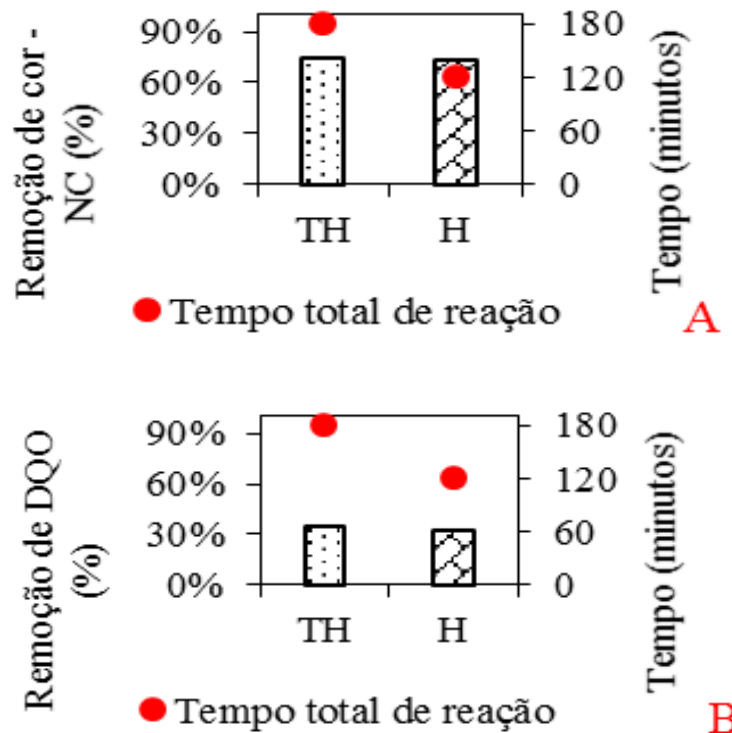


Figura 2: Eficiência dos POAs  $\text{TiO}_2/\text{UV}$ -A seguido do  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ -solar e  $\text{H}_2\text{O}_2/\text{UV}$ -solar no tratamento de lixiviado bruto. A) Percentual de eficiência na remoção de cor; B) Percentual de eficiência na remoção de DQO.

Logo, ressalta-se que, para as remoções de cor e DQO, o tratamento com a aplicação do processo  $H_2O_2/UV$ -solar diretamente no lixiviado bruto alcançou resultados consideráveis, em menor tempo de tratamento, em comparação com ao tratamento composto por  $TiO_2/UV-A$  seguido do  $H_2O_2/UV$ -solar. Estes resultados se revestem de grande importância, pois, a fase artificial pode ser dispensada, tendo a possibilidade de reduzir de maneira significativa o custo operacional do sistema.

Entretanto, pode-se afirmar que, a cor do lixiviado reduziu satisfatoriamente após os tratamentos, porém, o mesmo não aconteceu com a DQO. Corroborando com esses resultados, Cahino e Rocha (2017) encontraram baixa eficiência do processo  $H_2O_2/UV$ -solar na remoção de compostos orgânicos recalcitrantes, em termos de DQO, presentes no lixiviado proveniente do ASMJP.

Rocha *et al.*, (2010), afirmam que a baixa eficiência de sistemas com associação de  $TiO_2$  e  $H_2O_2$  sob UV solar, no tratamento de lixiviado com elevada DQO, é presumivelmente devido à solução alcalina de lixiviado, para a qual o  $H_2O_2$  se torna altamente instável, ocorrendo sua auto-decomposição.

Contudo, Cho; Hong; Hong (2004), investigaram possíveis causas para a degradação incompleta do lixiviado, mesmo quando submetido a tratamento fotocatalítico prolongado. Os autores associam tal efeito à formação de residuais insusceptíveis a fotodegradação, com polímeros constituídos de sílica. Além disso, a matriz de lixiviado estabilizado é composta em grande parte por substâncias de massa molar alta, principalmente as macromoleculares “semelhantes” a lignina e ácidos húmicos.

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

A presente pesquisa proporcionou a investigação de POAs, conjugados e isolados para a remoção de matéria orgânica, no tratamento lixiviado bruto proveniente do ASMJP. Foi possível constatar que a utilização de radiação artificial é viável, porém pode ser uma alternativa onerosa, o que torna a radiação solar mais atrativa, principalmente na região Nordeste do Brasil.

Assim, dentre as rotas de tratamentos investigadas para o tratamento do lixiviado bruto, não foram encontradas diferenças expressivas entre os percentuais de remoção de cor e DQO após os as rotas de tratamentos  $TiO_2/UV-C$  seguido do  $H_2O_2/UV$ -solar (TH) e  $H_2O_2/UV$ -solar (H). Dessa forma, o processo isolado H pode ser considerado o mais eficiente com menor tempo de tratamento e dispensando a fase artificial. Entretanto, tem-se a necessidade de otimização do processo para garantia de uma maior eficiência de degradação dos compostos recalcitrantes, em termos de DQO.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, DC.
2. ASGHAR A, ABDUL R A A, WAN DAUD, W M A. Advanced oxidation processes for in-situ production of hydrogen peroxide/hydroxyl radical for textile wastewater treatment: a review. *Clea. Prod. J.* v. 87, p. 826–838, 2015.
3. CAHINO, A. M. Estudo do processo de fotodegradação solar por UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de lixiviado oriundos de lagoas de estabilização. 2015, 62f. Monografia (Curso de Graduação em Ciência de Engenharia Ambiental) CGEA. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.
4. CAHINO, A. M. ROCHA, E, M. R. Fotocatálise solar por UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de lixiviado de aterro sanitário aliado ao uso de inibidor na remoção de DQO e cor. *Revista DAE*, v.65, n.208, p. 56-67, 2017.
5. CASTRO, A.V.S. (2004), *Processos Oxidativos Avançados para Tratamento de Águas Ácidas de Refinaria de Petróleo*, Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Instituto Alberto Luis Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
6. CHRISTENSEN T H, KJELDENP, BJERG P L, JEMSEN D L, CHRISTENSEN J B, BAUN A, ALBRECHTSEN H J, HERON G. Biogeochemistry of landfill leachate plumes. *App. Geoch.*, v. 16, n. 7-8, p. 659–718, jun. 2001.



7. CHO, S.P.; HONG, S.C.; HONG, S.I. Study of the end point of photocatalytic degradation of landfill leachate containing refractory matter. *Chem. Eng. J.*, v. 98, p.245- 253, 2004.
8. CHONG, M. N. et al. Recent developments in photocatalytic water treatment technology: a review. *Water Research*, v. 44, n. 10, p. 2997–3027, 2010.
9. COSTA, M. P. D. et al. Combinação de processos oxidativos fotoirradiados por luz solar para tratamento de percolado de aterro sanitário: catálise heterogênea (TiO<sub>2</sub>) versus catálise homogênea (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). *Ambi-Agua*, v. 8, n. 1, p. 290-306, 2013.
10. DOUMIC L I, SOARES P A, AYUDE M A, CASSANELLO M, BOAVENTURA R A R, VILAR V J P. Enhancement of a solar photo-Fenton reaction by using ferrioxalate complexes for the treatment of a synthetic cotton-textile dyeing wastewater. *Chem. Eng. J.*, v. 277, 86-96, 2015.
11. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2017. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas/>>. Acesso em 19/07/2017.
12. KASIRI, M.B. KHATAEE, A.R. (2011) Photooxidative decolorization of two organic dyes with different chemical structures by UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process: Experimental design. *Desalination*, **270** (1-3), 151–159. [doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.039](https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.11.039)
13. 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 f. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.
14. PRIMO, O.; RIVERO, M. J.; ORTIZ, I. Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. *Journal of hazardous materials*, v. 153, n. 1-2, p.834–42, 2008.
15. ROCHA E M R, SANTOS A B, MOTA F S B, RIBEIRO J P, SOUZA N C, NASCIMENTO R F. Avaliação do processo oxidativo avançado do tipo UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como opção de pós-tratamento de lixiviado. *R.DAE*, v. 58, p. 3-11, 2010.
16. SHU, H.; FAN, H.; CHANG, M.; HSIEH, W. (2006) Treatment of MSW landfill leachate by a thin gap annular UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> photoreactor with multi-UV lamps. *Journal of Hazardous Materials*, **129**(3), 73-79. [doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.009](https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.08.009)
17. TEIXEIRA, C.P.deA.B.; JARDIM, W.deF. (2004) **Processos Oxidativos Avançados, Conceitos Teóricos**: caderno temático. Campinas, 83 pp.
18. ZHANG, H.; CHOI, H. J.; HUANG, C.-P. Optimization of Fenton process for the treatment of landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, v. 125, n. 1–3, p. 166–74, 2005.