

## Modificação do acetato de celulose de filtros de cigarro para uso como catalisador no tratamento de efluentes

### *Modification of cellulose acetate from cigarette filters for use as a catalyst in effluent treatment*

Emilly Giacobbo<sup>1</sup>; Kely Viviane de Souza<sup>2</sup>; Guilherme Gavlak<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluna do Programa de Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, Brasil. Orcid: 0009-0000-3166-9530. E-mail: [emillygiacobbo26@gmail.com](mailto:emillygiacobbo26@gmail.com)

<sup>2</sup> Professora do Programa de Mestrado, em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0002-7680-852X. E-mail: [kelyvdesouza@gmail.com](mailto:kelyvdesouza@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor do Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro Oeste, Paraná, Brasil. Orcid: 0000-0001-9758-3860. E-mail: [eng.guilhermegavlak@gmail.com](mailto:eng.guilhermegavlak@gmail.com)

**RESUMO:** As bitucas de cigarro são um problema ambiental significativo, principalmente quando descartadas erroneamente, porém, esse resíduo é passível de reciclagem, visto que sua estrutura se baseia em acetato de celulose, material já utilizado no meio industrial para fins absorventes e filtrantes. O presente trabalho teve como objetivo realizar a modificação química do acetato de celulose do filtro de cigarro baseada na incorporação de ferro para utilizá-lo como catalisador de processo de tratamento de efluentes. Após realizar três métodos distintos para a imobilização do ferro em meio básico, ácido e férrico durante 7 dias, aquele que apresentou melhor adsorção de ferro após as análises de espectroscopia foi o meio onde as bitucas permaneceram em contato com solução férrica 0,1 mol/L. Sendo assim, o grupo de bitucas resultantes desse método, foram utilizadas para a realização dos processos Fenton e foto-Fenton e apresentaram resultados positivos na descoloração da mistura de corantes das indústrias têxteis evidenciados pela alteração espectral na região de 350 a 700 nm, indicando mudança significativa da coloração da amostra. Mesmo sendo um estudo preliminar, os dados obtidos apontam para a utilização das pontas de cigarro e uma alternativa no tratamento de efluentes de indústrias que utilizam grandes quantidades de corantes.

**Palavras-chave:** Fenton; foto-Fenton; imobilização; íons de ferro; processos oxidativos avançados.

**ABSTRACT:** *Cigarette butts are a significant environmental problem, especially when improperly discarded. However, this waste is recyclable, as its structure is based on cellulose acetate, a material already used in the industrial environment for absorbent and filtering purposes. The present study aimed to chemically modify the cellulose acetate of cigarette filters by incorporating iron to use it as a catalyst in effluent treatment processes. After employing three different methods for iron immobilization in basic, acidic, and ferric media for 7 days, the method that showed the best iron adsorption, based on spectroscopic analyses, was the one where the butts remained in contact with a 0.1 mol/L ferric solution. Therefore, the group of butts resulting from this method was used for Fenton and photo-Fenton processes, yielding positive results in the discoloration of textile dye mixtures, as evidenced by spectral changes in the 350 to 700 nm range, indicating a significant color alteration in the sample. Despite being a preliminary study, the data obtained suggest the potential use of cigarette tips as an alternative in treating effluents from industries that use large quantities of dyes.*

**Keywords:** *Fenton; photo-Fenton; immobilization; iron ions; advanced oxidative processes.*

## INTRODUÇÃO

Por apresentar potencial poluidor, a bituca de cigarro vem se tornando um grande problema, visto que uma única bituca é capaz de poluir um litro de água, índice esse que traz grande reflexão a parte de tal poluição quando comparado com os valores divulgados pela *The Ocean Conservancy*, ONG internacional responsável pelo dia mundial de limpeza da costa, aonde pouco mais de um milhão de bitucas de cigarro foram coletadas nas praias do mundo todo (Jones, 2022).

O descarte das pontas de cigarro próximo a áreas secas, após um período de estiagem, por exemplo, ou até mesmo as bitucas jogadas próximas as matas, em períodos de calor intenso, podem causar queimadas, afetando a flora e fauna (Glugoski; Cubas, Fujiwara, 2017). Outro incidente, que vem se tornando comum, é a presença desse material em meio aquático, o que resulta na morte de animais aquáticos em decorrência de obstruções do trato gastrointestinal por ingestão das pontas dos cigarros, pela similaridade com seres vivos (Bezerra; Bibanco; Bondioli, 2009; Santos-Echeandía *et al.*, 2021).

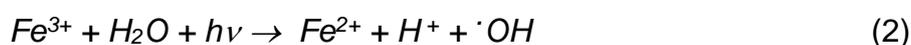
Atualmente é possível observar a presença de bitucas descartadas erroneamente nos mais diversos cenários e isso acaba potencializando a ação desse vilão no meio ambiente, devido sua capacidade de poluir mesmo após a coluna de fumo ter sido consumida e isso se dá pelo fato do material da bituca de cigarro reter parte dos componentes químicos presente no corpo do cigarro (Lopes *et al.*, 2020).

A composição dos filtros de cigarro são fibras de acetato de celulose, um éster obtido pela reação da celulose, extraída e purificada da polpa de madeira, com anidrido acético e ácido acético, na presença de catalisador (ácido sulfúrico). O produto da reação é hidrolisado para remover o ácido sulfúrico e os grupos sulfato e acetato (Cao *et al.*, 2010).

O acetato de celulose possui grupos funcionais que podem ser modificados quimicamente. Sintetizada em 1865, o acetato de celulose é um biopolímero produzido pela acetilação da celulose. As unidades glicosídicas da celulose apresentam grupos hidroxila, envolvidos em um grande número de ligações de hidrogênio. É uma celulose esterificada, com propriedades termoelásticas e é usada na preparação de materiais híbridos, por ser de baixo custo, apresentar alta disponibilidade e ser relativamente inerte (Hoffmann *et al.*, 2007). A dispersão de partículas de óxidos metálicos inorgânicos na superfície das fibras ou no interior das membranas de acetato de celulose permite obter materiais com muita aderência, tornando-os materiais atrativos para diversas aplicações (Hoffmann *et al.*, 2007).

Diante das características citadas, o acetato de celulose torna-se um suporte atrativo para a imobilização de íons  $Fe^{2+}$  para uso como catalizador nos processos de tratamento de efluentes do tipo Fenton e foto-Fenton imobilizados.

O processo Fenton, caracteriza-se pela reação entre o íon ferroso ( $Fe^{2+}$ ) e o peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) (Equação 1) (Nogueira *et al.*, 2007; Liu *et al.*, 2023). Embora o processo Fenton seja uma alternativa eficiente na degradação de vários poluentes de relevância ambiental, seu desempenho pode ser significativamente melhorado quando assistido por fontes de radiação ultravioleta (UV) ou visível (processo foto-Fenton) (Equação 2). Visto que, a fotorredução dos íons férricos ocasiona à regeneração dos íons ferrosos, permitindo assim fechar um ciclo catalítico com formação de dois radicais hidroxila por mol de peróxido de hidrogênio decomposto inicialmente (Covinich *et al.*, 2014).



Uma desvantagem dos processos citados consiste na necessidade de operar em condições ácidas ( $\text{pH} < 3$ ), a fim de evitar a precipitação de hidróxidos de  $\text{Fe}^{3+}$ , os quais interferem na incidência da radiação no sistema, diminuindo a eficiência do processo. Em decorrência, vários trabalhos reportam a utilização de materiais que possuam grupos que permitam formas imobilizadas de íons ferrosos e/ou férricos em matrizes orgânicas ou inorgânicas, por meio de atração eletrostática ou de ligação iônica, para o uso em processos fotoquímicos (González-Bahamóna *et al.*, 2011; Almeida *et al.*, 2022; Mandal *et al.*, 2023). A utilização de íons imobilizados permite a ampliação da faixa de pH operacional, reduz a geração de lodo ao final do tratamento e ainda permite a reutilização do sistema imobilizado, se tornando uma ótima opção de uso (Dalari *et al.*, 2020).

O uso de processos oxidativos avançados para o tratamento de efluentes, principalmente os de origem têxteis com a presença de corantes, possuem grande potencial de degradação de poluentes não biodegradáveis, visto que essas moléculas não são totalmente degradadas durante os sistemas convencionais, aumentando a vantagem ambiental do seu uso (Porto *et al.*, 2024).

A utilização de formas imobilizadas permite uma importante ampliação da faixa operacional de pH, a inexistência de geração de lodo ao final do tratamento e a possibilidade de reutilização do sistema imobilizado (Souza *et al.*, 2017). Deste modo, o objetivo desse trabalho é o uso do acetato de celulose proveniente da bituca do cigarro como possível suporte para a imobilização de  $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ , apresentando um novo reuso para esse material, e uso posterior em tratamento de efluentes por processos oxidativos avançados.

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### Métodos de Incorporação de íons $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ na bituca

Após a coleta das bitucas, a qual ocorreu de forma aleatória em pontos específicos como restaurantes, lanchonetes e bares, as mesmas passaram pelo processo de remoção do papel que as envolve e de qualquer outro resíduo diferente do filtro em si, para que então fossem lavadas com água destilada e em seguida serem secas em estufa por 4h em temperatura média de 80 °C. Com o material lavado e seco, cerca de 60g de bitucas foram separadas, aleatoriamente, e então subdivididas em três novos grupos, para a realização de três métodos de imobilização de ferro.

Método 1: foram utilizadas 20 g de bitucas e 250 mL de solução de  $\text{Fe}^{2+}$  0,1 mol/L, misturados em béquer e deixado em repouso durante 7 dias, à temperatura ambiente.

Método 2: foram utilizadas 20 g de bitucas, as quais foram mantidas em contato com 200 mL de solução de NaOH 0,1 mol/L. Após esse período, as bitucas foram lavadas com água destilada, retirando todo o excesso de NaOH e em seguida foram adicionadas a uma solução de 250 mL de  $\text{Fe}^{2+}$  0,1 mol/L e mantidas em repouso, durante 7 dias.

Método 3: foram utilizadas 20 g de bitucas, dispostas em béquer contendo 200 mL de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,1 mol/L, a mistura foi mantida em repouso por 4 dias. Em seguida, as bitucas foram lavadas com água destilada para retirada do excesso de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  e então, colocadas em contato com 250 mL de  $\text{Fe}^{2+}$  0,1 mol/L, permanecendo em repouso durante 7 dias.

Nos três métodos, foram retiradas amostras diariamente, para determinar a concentração de ferro em solução. Após o período de contato em cada método, as bitucas foram lavadas em água destilada e secas em estufa por 4 horas à 80 °C.

As análises para determinação da concentração de íons de  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$ , foram realizadas via espectroscopia UV-VIS, utilizando-se a metodologia fundamentada na reação de complexação entre  $Fe^{2+}$  e o-fenantrolina. A concentração que ficou adsorvida na celulose do filtro da bituca foi calculada de acordo com a Equação 3.

$$[Fe^{2+}/Fe^{3+}]_{adsorvido} = [Fe^{2+}/Fe^{3+}]_{(aq) \text{ inicial}} - [Fe^{2+}/Fe^{3+}]_{(aq) \text{ após 7 dias}} \quad (3)$$

### Teste de Lixiviação dos íons $Fe^{2+}/Fe^{3+}$

O estudo da lixiviação de íons de  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  das bitucas, foi realizado frente a soluções ácida, básica e neutra, por 7 dias. Três bitucas de cada método foram pesadas, maceradas e colocadas em 3 béqueres distintos, um contendo 50 mL de  $H_2SO_4$  0,1 mol/L, outro com 50 mL de NaOH 0,1 mol/L e o terceiro com 50 mL de água destilada.

### Teste de adsorção da mistura de corantes nas bitucas

Para o teste de adsorção da mistura de corantes nas bitucas, 1,0 g de bituca foi imerso em 200 mL de uma mistura de corantes 50 mg/L (corante preto 5, azul Qr-19 e laranja 16) visto que estes corantes são os mais utilizados no ramo da indústria têxtil na concentração citada, e mantido em agitação magnética constante por 2 horas. Alíquotas foram coletadas a cada 30 minutos para o acompanhamento espectrofotométrico UV/Vis.

### Processos oxidativos avançados (Fenton e foto-Fenton)

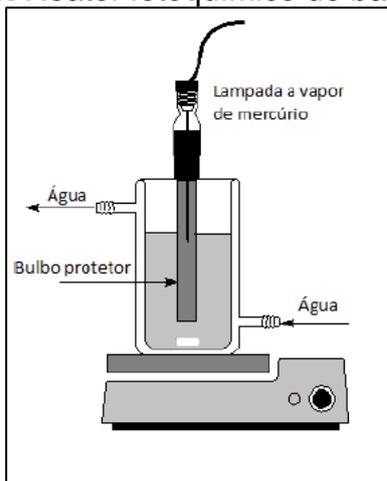
Para o processo Fenton foi utilizado 250 mL da mistura de corante (50 mg/L) em pH 3, 1,0 g de bituca com ferro imobilizado e 100 mg/L de  $H_2O_2$ . A mistura foi mantida sob agitação magnética constante e na ausência de luz por 1 hora, sendo coletadas alíquotas ao longo do processo para o acompanhamento espectrofotométrico UV/Vis.

Já o processo foto-Fenton foi realizado em reator fotoquímico de bancada, equipado por refrigeração por água, agitação magnética e lâmpada à vapor de mercúrio de 125 W inserida no interior, protegida por um bulbo de quartzo (**Figura 1**).

O uso dos processos Fenton e foto-Fenton apresentam uma significativa eficiência de remoção de contaminantes sendo processados com efluentes reais e sintéticos. Para o processo Fenton em escalas maiores a única desvantagem é geração de lodo, o que gera aumento do custo de operação por necessitar de tratamento, porém uma alternativa para a diminuição dessa geração de lodo vem com a utilização do processo foto-Fenton, e uma forma de diminuir o custo dessa operação é utilizar a energia solar para a utilização da luz UV-visível necessária para o processo.

No reator, foram adicionados 250 mL da mistura de corantes (50 mg/L) pH 3, 1 g de bituca modificada com ferro e 100 mg/L de  $H_2O_2$ . Alíquotas foram coletadas ao longo de 60 minutos para o acompanhamento espectrofotométrico UV/Vis.

**Figura 1.** Reator fotoquímico de bancada.



Fonte: Dos autores, 2024

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Incorporação de íons $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ na bituca

Na **Tabela 1** estão apresentadas as concentrações de íons  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  presentes nas bitucas ao final de 7 dias, de acordo com cada método.

**Tabela 1.** Concentração de  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  e  $Fe_{total}$  nas bitucas após 7 dias, nos três métodos.

	Métodos de preparo da bituca		
	Primeiro	Segundo	Terceiro
$[Fe^{2+}]$ mg/L	2,13	0,43	0,43
$[Fe^{3+}]$ mg/L	0,78	0,34	0,35
$[Fe]_{total}$ mg/L	2,91	0,77	0,78

Fonte: Dos autores, 2024

É possível verificar que as bitucas provenientes do método 1 foram as que resultaram na maior quantidade de ferro sorvido no acetado de celulose e para a finalidade desejada no presente trabalho, quanto maior a quantidade de  $Fe^{2+}$  sorvido, melhor para a aplicação em processos oxidativos avançados do tipo Fenton e foto-Fenton, sendo assim apenas as bitucas desse método foram selecionadas para a continuidade dos estudos.

### Lixiviação dos íons $Fe^{2+}/Fe^{3+}$

Um aspecto importante que deve ser levado em consideração para a posterior aplicação dos filtros de celulose nos processos do tipo Fenton e foto-Fenton é a não lixiviação do ferro para a solução que será tratada. Após 7 dias de contato das bitucas modificadas com ferro nas soluções ácida, básica e neutra, foi possível verificar a baixa concentração ou até a ausência de substâncias férricas em solução, nos três métodos de preparo. A maior concentração de  $Fe^{2+}$  determinada em solução foi de 0,02 mg/L em meio ácido, o que indica que, independentemente do método de preparo o ferro fica sorvido na matriz.

## Adsorção da mistura de corantes nas bitucas

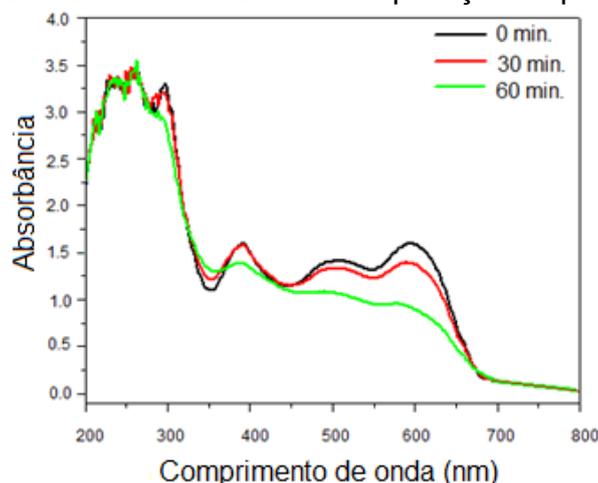
Para a aplicação das bitucas nos processos oxidativos do tipo Fenton e foto-Fenton, as mesmas, não podem adsorver os corantes em estudo, uma vez que o objetivo do trabalho foi a utilização das bitucas com ferro em métodos de tratamento de efluentes, via processo de oxidação química e não de adsorção. Ao final de 1h de contato, não houve descoloração da mistura de corantes, o que sugere que as moléculas de corante não foram adsorvidas pela celulose da bituca, resultado satisfatório para a aplicação nos processos Fenton e foto-Fenton.

## Processos Fenton e foto-Fenton

A partir dos resultados positivos das etapas anteriores os testes a fim de avaliar a capacidade de aplicação das bitucas com ferro em processos oxidativos de tratamento de efluentes, como os processos Fenton e foto-Fenton, os quais utilizam íons  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$  como catalisador, foram aplicados.

O processo Fenton promoveu uma discreta descoloração da mistura de corantes em 60 minutos, pela redução parcial das bandas de absorção na região de 350 a 700 nm (**Figura 2**), região característica dos grupos cromóforos da mistura de corantes, ou seja, grupos que conferem cor. Já na região de 200 a 350 nm, região característica de compostos orgânicos, não houve redução. Esses resultados estão em consonância com outros trabalhos encontrados na literatura, demonstrando que processos Fenton são mais eficientes para a descoloração de efluentes e não para a degradação dos compostos orgânicos (Torrades *et al.*, 2008; Tanveer *et al.*, 2022; Kalia *et al.*, 2023).

**Figura 2.** Acompanhamento espectrofotométrico na região UV-Vis da mistura de corantes durante aplicação do processo Fenton.

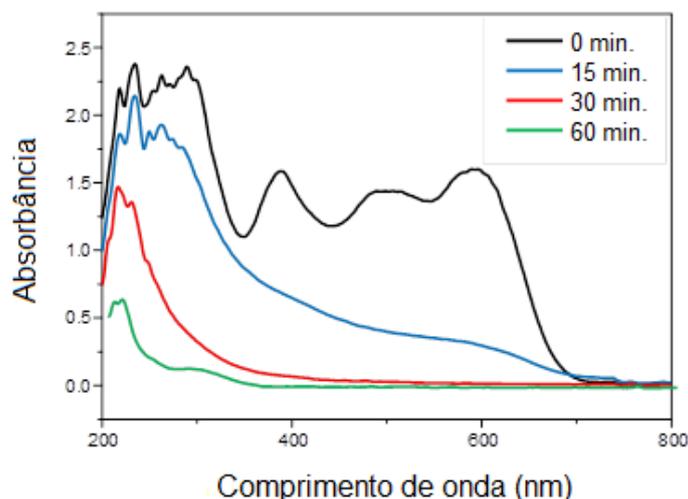


Fonte: Dos autores, 2024

Já no processo foto-Fenton, nos primeiros 15 minutos já foi possível verificar uma significativa alteração espectral na região de 350 a 700 nm (**Figura 3**), que corresponde à região do visível, demonstrando uma redução significativa da cor da mistura de corantes. Já em 30 minutos, ocorreu a redução total do sinal dessa região, ou seja, em 30 minutos o processo foto-Fenton promoveu a completa descoloração da mistura de corantes, indicando

também que a solução não apresentou coloração amarelada após os 30 minutos, o que revela que não houve lixiviação do ferro da celulose da bituca para a solução.

**Figura 3.** Acompanhamento espectrofotométrico na região UV-Vis da mistura de corantes durante aplicação do processo foto-Fenton.



Fonte: Dos autores, 2024

Nota-se que, diferentemente do que ocorreu no processo Fenton, houve uma significativa redução das bandas que absorvem na região de 200 a 350 nm, indicando que além da descoloração, ocorreu também significativa degradação, ou seja, quebra de outras ligações dos compostos orgânicos, além da quebra do grupo cromóforo presentes da mistura de corantes.

As estruturas químicas dos corantes que compõem a amostra são complexas, contendo diversos grupos orgânicos, como aminas aromáticos, grupos sulfonados, entre outros, que absorvem na região de 200 a 350 nm. A redução do sinal de absorção nesta região indica que esses grupamentos foram quebrados no decorrer no processo foto-Fenton. O sinal remanescente nesta região após 60 minutos, é característico de aldeídos; ácidos carboxílicos, entre outras espécies de baixa massa molar (Pavia *et al.*, 2013).

Cabe salientar que, após a realização dos processos oxidativos avançados, as bitucas não apresentaram modificações físicas sugerindo a possibilidade de reuso das mesmas, uma das vantagens em trabalhar com íons  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  imobilizados.

Após a análise dos resultados obtidos, é possível notar a eficiência dos processos realizados, mesmo em escala de bancada. Os resultados se mostraram similares com outros dados da literatura, como por exemplo, o estudo da reutilização de fibras de carbono na degradação de corantes, que segundo Lan *et al.* (2015) a atividade do material manteve-se até o quarto uso e obtiveram 100% de remoção do corante ácido vermelho B e 43% de remoção do carbono orgânico total.

Martins (2022), também apontou a eficiência do acetato de celulose para a remoção de corantes de efluentes industriais a partir da adição do acetato de celulose nas soluções de corantes sob agitação magnética de 0 à 10 horas, aonde através da leitura UV/VIS foi possível determinar uma remoção superior de 90%

Afim de mostrar que as bitucas podem ser utilizadas em todas as suas formas, Huang *et al.* (2022) apresentaram a eficiência de degradar entre 95% e 100% o corante Rodamina B após 20 minutos no sistema de reator batelada, utilizando o filtro de cigarro carbonizado.

Outro estudo neste sentido, foi de Soon e Hameed (2013), os quais imobilizaram ferro em sílicas para serem usadas no processo foto-Fenton também com o objetivo de degradar corantes, a eficiência de degradação foi de 88% em 30 minutos e a sílica pôde ser reutilizada em 4 ciclos.

Galvão et al. (2023) apontaram o uso de filtros de cigarro para a produção de membranas de imobilização de íons férricos para aplicação em processos oxidativos avançados.

Perante a literatura já existente em ressonância com os resultados obtidos, é possível atingir um avanço significativo na área de estudo sobre os processos oxidativos avançados em parceria com o uso das bitucas de cigarros como imobilizadores dos íons de ferro. Entretanto é importante focar em questões de alternância na amostra de bitucas de cigarro e de outros parâmetros como a temperatura.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível concluir que é possível a impregnação de íons  $Fe^{2+}$  e  $Fe^{3+}$  no acetado de celulose do filtro de cigarro. Foi observado que não houve lixiviação dos íons de ferro da celulose em meio neutro ou básico, somente em meio ácido a lixiviação se mostrou presente, porém de forma mínima, bem como não ocorreu a adsorção da mistura de corantes no filtro de cigarro, fatores importantes que permitem a sua utilização como catalizador em processos oxidativos de tratamento de efluentes.

Os resultados da aplicação dos processos Fenton e foto-Fenton mostraram-se promissores. O processo Fenton promoveu uma discreta descoloração da mistura de corantes em 60 minutos, sem redução da banda característica dos compostos aromáticos (UV).

Já o processo foto-Fenton, em 30 minutos ocorreu a completa descoloração da mistura de corantes e em 60 minutos, uma significativa redução espectral na região do UV, sugerindo a degradação dos compostos orgânicos.

Além do resultado positivo perante o tratamento do efluente, o uso da bituca de cigarro nesse meio, previne a poluição ambiental causada pelo descarte incorreto desse material.

Os estudos dos processos oxidativos avançados foram preliminares, sendo necessário avanços para verificar a eficiência do sistema utilizando ferro imobilizado para aplicação em escalas maiores de bitucas de cigarro e efluente a ser tratado, bem como a reutilização do material no sistema, visto que o estudo apresentado se baseou em uma escala de bancada. Juntamente com a verificação da eficiência em outras escalas é necessário avaliar a viabilidade da obtenção da bituca de cigarro em quantidades fundamentais para a execução dos processos e contestar a operacionalidade com a vertente econômica.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. R.; MONTEIRO, F. C.; MONTEIRO, J. F. H. L.; TIBURTIUS, E. R. L.; PESSÔA, C. A. Photocatalytic oxidation of textile dye using sugarcane bagasse-Nb2O5 as a catalyst. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v. 432, p. 114103, 1 nov. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2022.114103> Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1010603022003288> Acesso em: 03 jun. 2024.

BEZERRA, D. P.; BIBANCO, J. F. P.; BONDIOLI, A. C. V. Dados preliminares sobre a ingestão de material antrópico por tartarugas marinhas na região do complexo estuarino lagunar de Cananéia-SP, Brasil. **IV Jornadas de Investigación y Conservación de Tortugas Marinas del Atlántico Sur Occidental – AOS**. Mar del Prata – Argentina, 2009.

CAO, Y.; ZHANG, J.; HE, J.; LI, H. Homogeneous Acetylation of Cellulose at Relatively High Concentrations in an Ionic Liquid. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 18, n. 3, p. 515–522, jan. 2010. DOI: 10.1016/S1004-9541(10)60252-2. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/223919586\\_Homogeneous\\_Acetylation\\_of\\_Cellulose\\_at\\_Relatively\\_High\\_Concentrations\\_in\\_an\\_Ionic\\_Liquid](https://www.researchgate.net/publication/223919586_Homogeneous_Acetylation_of_Cellulose_at_Relatively_High_Concentrations_in_an_Ionic_Liquid). Acesso em: 03 jun. 2024.

COVINICH, L. G.; BENGOCHEA, D. I.; FENOGLIO, R. J.; AREA, M. C. Advanced oxidation processes for wastewater treatment in the pulp and paper industry: a review, **American Journal of Environmental Engineering**, n. 4, v. 3, p. 56-70, 2014. DOI: 10.5923/j.ajee.20140403.03. Disponível em: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ajee.20140403.03.html>. Acesso em: 09 ago. 2023.

DALARI, B. L. S. K.; GIROLETTI, C. L.; TOMASSONI, F.; AMORIM, M. C. D.; HASSEMER, M. E. *et al.* Tratabilidade e estudo da toxicidade em efluentes da indústria têxtil tratados por processo foto-Fenton heterogêneo. **Revista DAE**, v. 222, n. 68, p. 6–19, 12 fev. 2020. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.013>. Disponível em: [https://revistadae.com.br/artigos/artigo\\_edicao\\_222\\_n\\_1854.pdf](https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_222_n_1854.pdf). Acesso em: 04 jun. 2024.

GLUGOSKI, L. P.; CUBAS, O. D. J.; FUJIWARA, S. T. Reactive black 5 dye degradation using filters of smuggled cigarette modified with Fe<sup>3+</sup>. **Environmental Science and Pollution Research**, Ponta Grossa, PR, v. 24, p. 6143-6150, 2017. DOI: 10.1007/s11356-016-6820-0. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-016-6820-0>. Acesso em: 16 ago. 2023.

GALVÃO, D. S.; ALVES, N. A.; TIBURTIUS, E. R. L.; PESSÔA, C. A.; FUJIWARA, S. T. Reactive dye degradation using Fe<sup>3+</sup> modified membranes obtained from cigarette filters. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, Ponta Grossa, PR, v. 439, maio 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2023.114586>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1010603023000515>. Acesso em: 09 ago. 2023.

GONZÁLEZ-BAHAMÓNA, L. F.; MAZILLET, F.; BENÍTEZA, L. N.; PULGARÍN, C. Photo-Fenton degradation of resorcinol mediated by catalysts based on iron species supported on polymers. **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, 217, p. 201–206, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2010.10.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1010603010004235>. Acesso em: 09 ago. 2023.

HOFFMANN, A. A.; DIAS, S. L. P.; BENVENUTTI, E.V.; LIMA, E.C.; PAVAN, F. A.; RODRIGUES, J. R. *et al.* Cationic dyes immobilized on cellulose acetate surface modified with titanium dioxide: factorial design and an application as sensor for NADH. **Journal of the Brazilian Chemical Society (Online)**, Porto Alegre, RS, n. 8, v. 18, p. 1462-1472,

2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532007000800003>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/jbchs/a/K5fgC58qNsPD9Hh63bBWT3R/abstract/?lang=en>. Acesso em 16 ago. 2023.

HUANG, S.; HU, T.; SHI, P.; ZHAO, G.; MIN, Y.; XU, Q. Peroxymonosulfate activation by recycling of discarded cigarette filters: Selective degradation of contaminants. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Shanghai, China, v. 132, março 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2021.11.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876107021006258>. Acesso em: 09 ago. 2023.

JONES, J. S. **Coneect + Collect**. Ocean Conservancy. Washington, p.34.2022.

KALIA, S.; DALVI, V.; NAIR, V. K.; SAMUCHIWAL, S.; MALIK, A. Hybrid electrocoagulation and laccase mediated treatment for efficient decolorization of effluent generated from textile industries. *Environmental Research*, v. 228, p. 115868–115868, 1 jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115868>

LAN, H.; WANG, V.; LIU, R.; LIU, H.; QU, J. Heterogeneous photo-Fenton degradation of acid red B over Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> supported on activated fiber. *Journal of Hazardous Materials*, v. 285, n. 1, p. 167-172, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.10.057>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389414009704>. Acesso em: 09 ago. 2023.

LIU, D.; HUANG, C.; HUANG, Y.; HSIEH, P.; LEE, M. Technological suitability and improvement for shaping environmental performance: A life cycle perspective on Fenton-based wastewater treatment processes. *Journal of Cleaner Production*, v. 428, p. 139307–139307, 1 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139307>.

LOPES, A. N.; KUHN, A. V.; PEREIRA, A. R. A.; BARRELA, W. Descarte irregular de resíduos de cigarro nas ruas Oswaldo Cruz e Lobo Viana, Santos (Brasil). *USISANTA Bioscience*, v. 9, n. 2, p. 114-123, 2020.

MANDAL, A.; MUKHERJEE, M.; MANDAL, R.; MUKHERJEE, B. Immobilization of Iron Phthalocyanine on carbon nitride support for visible light driven dye degradation: Experimental investigation integrated with DFT study. *Surfaces and interfaces*, v. 42, p. 103507–103507, 1 nov. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2023.103507>.

MARTINS, B. M. Remoção de corantes a partir do acetato de celulose modificado com tioacetamida. 2022. 32 p. Trabalho acadêmico (Monografia) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Inhumas, GO, 2022.

HASSEMER, M. E. N.; DALARI, B. L. S. K.; DOMINGOS, D. G.; SCHALLEMEBERGER, J. B.; DALALIBERA, A.; TOMASSONI, F. Processos Oxidativos Avançados: Uma breve revisão. In: SILVEIRA, José Henrique Porto (Org.). **Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia**. 1. ed. v. 11. Belo Horizonte: Editora Poisson, 2022. p. 80-100.

NOGUEIRA, R. F. P.; TROVÓ, A. G.; SILVA, M. R.A.; VILLA, R.D. Fundamentos e Aplicações ambientais dos processos Fenton e foto-Fenton. **Química Nova**, v. 30, p. 400-408, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000200030>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/qHcKf8JsnJjpk4pxp6wZCr/>. Acesso em: 09 ago. 2023.

PAVIA, D.L.; LAMPMAN, G.M.; KRIZ, G.S.; VYVYAN, J.R. Introdução à espectroscopia. Tradução da 4. edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PORTO, C. G. D.; SILVA, G. L.; NETO, J. F. A.; SILVA, M. C. R. S. Processos oxidativos avançados no tratamento de efluentes têxteis aplicáveis ao arranjo produtivo local de confecções do Agreste Pernambucano. **Research, Society and Development**, v. 13, n. 1, p. e11013144840-e11013144840, 24 jan. 2024. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v13i1.44840>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/44840>. Acesso em: 03 jun. 2024.

SANTOS-ECHEANDÍA, J.; ZÉLER, A.; GAGO, J.; LACROIX, C. The role of cigarette butts as vectors of metals in the marine environment: Could it cause bioaccumulation in oysters? **Journal of Hazardous Materials**, v. 416, p. 125816, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125816>.

SOON, NI A.; HAMEED, H. B. Degradation of acid blue 29 in visible light radiation using iron modified mesoporous silica as heterogeneous Photo-Fenton catalyst. **Applied Catalysis General**, v.450, n.1, p.96-105, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2012.10.025>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926860X12006734> Acesso em: 09 ago. 2023.

SOUZA, K. V.; LOPES, E. O.; BARTIKO, D.; VIDAL, C.M.S.; SOUZA, J.B. Utilização de biopolímero no tratamento de efluentes da indústria de papel e celulose por Processo Oxidativo Avançado. **Scientia Forestalis** (IPEF), v. 45, p. 1-8, 2017. DOI: [dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n114.12](https://doi.org/10.18671/scifor.v45n114.12). Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr114/cap12.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2023.

TANVEER, R.; YASAR, A., TABINDA, A.; IKHLAQ, A.; NISSAR, H.; NIZAMI, A. Comparison of ozonation, Fenton, and photo-Fenton processes for the treatment of textile dye-bath effluents integrated with electrocoagulation. **Journal of Water Process Engineering**, v. 46, p. 102547, abr. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102547>.

TORRADES, F.; GARCIA-HORTAL, J.A.; NUNEZ, L. Fenton and photo-Fenton oxidation of amodel mixture of dyes – overall kinetic analysis. **Coloration Technology**, v.124, n.6, p.370-374, 2008. DOI:10.1111/j.1478-4408.2008.00165.x. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1478-4408.2008.00165.x> Acesso em: 16 ago. 2023.

Recebido em: 14/09/2023

Aprovado em: 29/12/2023