

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

INVESTIGAÇÃO DE ELETRODOS BASEADOS EM $\text{Ti/IrO}_2\text{-SnO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ FRENTE A DEGRADAÇÃO DO CORANTE TÊXTIL *REACTIVE BLACK 5* (RB-5)

Lucas Destefani Paquini¹, Lília Togneri Marconsini², Bruno Regis Lyrío Ferraz²,
Lívia Francisca Araújo Dias², Luciene Paula Roberto Profeti², Josimar Ribeiro¹,
Demetrius Profeti²

¹ Universidade Federal do Espírito Santo, Av. Fernando Ferrari, Vitória - 29075-910 - Espírito Santo, Brasil, lucasdestefanip@hotmail.com, josimar.ribeiro@ufes.br.

² Universidade Federal do Espírito Santo. Alto Universitário s/n – Guararema, 29500-000, Alegre, Espírito Santo, Brasil, lilia.marconsini@edu.ufes.br, bruno.ferraz@ufes.br, livia.f.dias@edu.ufes.br, luciene.profeti@ufes.br, demetrius.profeti@ufes.br.

Resumo

A contaminação de águas superficiais por efluentes aquosos provenientes da indústria têxtil tornou-se uma problemática contundente nos dias atuais. Nesse sentido, dentre as espécies majoritariamente presentes, os corantes têxteis representam um enorme risco ao meio ambiente, principalmente por apresentarem elevado potencial mutagênico e recalcitrante. Com o intuito de minimizar os impactos causados pela presença de corantes têxteis, alguns métodos de tratamento de efluentes têm sido desenvolvidos. Dentre estes, a oxidação eletroquímica indireta promovida por eletrodos do tipo Anodo Dimensionalmente Estável (ADE) tem se mostrado uma opção viável. Acerca disso, no presente estudo buscou-se investigar o comportamento de degradação do corante RB-5 promovido por eletrodos do tipo ADE, sob diferentes composições. Verificou-se que o processo conduzido por meio do eletrodo $\text{Ti/Ir}_{0,3}\text{Sn}_{0,65}\text{Ta}_{0,05}\text{O}_x$ apresentou os melhores indicadores de eficiência, sendo validado um processo de cinética rápida ($k_{\text{app}} = 0,0055 \text{ s}^{-1}$), com uma completa descolorização em 900 s e uma redução nos valores de demanda química de oxigênio (DQO) de 67,65%.

Palavras-chave: Corantes. RB-5. Degradação. Cinética. ADE.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra - Química

Introdução

O desenvolvimento do setor têxtil representa um avanço significativo para o processo de industrialização global e para o progresso das sociedades modernas (ZANONI; YAMANAKA, 2016). Atrelado a isso, o modo de operação desse ramo apresenta uma série de características que impactam diretamente no bem-estar coletivo e ao meio ambiente como um todo. Logo, a degradação de recursos hídricos ocasionada por este setor industrial tornou-se, ao longo das últimas décadas, um fator contundente; principalmente por conta dos frequentes despejos de águas residuárias não tratadas, as quais exibem altas cargas de contaminantes de grande toxicidade (RAJKUMAR; KIM, 2006).

Dentre as diversas espécies presentes nos efluentes têxteis, os corantes se destacam pela sua estabilidade e recalcitrância no ambiente. Nesse viés, corantes pertencentes ao grupo azo possuem uma larga faixa espectral de cores, e por isso, representam cerca de 65% dos corantes comercialmente disponíveis. De acordo com (RAMSAY; NGUYEN, 2002), os azo-corantes são caracterizados pela presença de um ou mais grupos azo ($-\text{N}=\text{N}-$), além da presença de grupos reativos sulfona ($\text{R}-\text{S}(=\text{O})_2$), e das ligações entre dois ou mais anéis aromáticos (VASCONCELOS *et al.*, 2016). Dentre os azo-corantes mais comumente empregados na indústria de transformação, o corante *Reactive Black 5* (RB-5) se destaca por ser um dos mais modernos e aplicáveis. Este corante compõe a principal matéria prima de tingimento de jeans, algodão e poliéster, podendo ser aplicado também em análises biofarmacológicas (COURA; PROFETI; PROFETI, 2020). De maneira geral, os efluentes contendo RB-5 representam cerca de 54% de todas as emissões das indústrias têxteis, sendo estes promotores de efeitos mutagênicos, carcinogênicos, biomagnificantes e bioacumulativos ao ser humano e demais espécies de um determinado ecossistema (WIELEWSKI *et al.*, 2020).

Diante disso, com o intuito de minimizar os impactos causados pela presença de corantes têxteis em efluentes líquidos industriais, alguns métodos de tratamento de efluentes como precipitação, seguido de coagulação (KHAYET; ZAHIM; HILAL, 2011), filtração por membrana (COCKERHAM *et al.*, 2022), ozonização (PRAMUGANI *et al.*, 2022), fotocatalise (JAWAD *et al.*, 2021), processos

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

oxidativos avançados (MAROUDAS *et al.*, 2021), processos eletroquímicos oxidativos avançados (PEOAs) (DOMINGUEZ *et al.*, 2018), têm sido desenvolvidos. Dentre os métodos convencionais de tratamento de água, os PEOAs e, em específico, a oxidação eletroquímica (OE), têm sido frequentemente utilizados no campo de tratamento de efluentes, principalmente por apresentarem alta eficiência na remoção de contaminantes persistentes, como os azo-corantes (BRILLAS, 2020; OLLER; MALATO; SÁNCHEZ-PÉREZ, 2011). Acerca da importância da Oxidação Eletroquímica no contexto da purificação de efluentes, a oxidação eletroquímica indireta (OEI) promovida por eletrogeração de mediadores oxidantes cloro-ativos, tem sido amplamente empregada e gradualmente tem se transformado em um método alternativo. Dentre os diversos materiais utilizados na condução da técnica, eletrodos conhecidos como ânodos dimensionalmente estáveis (ADEs) são listados como essenciais para a promoção de processos oxidativos mais eficientes, robustos e com bons índices de custo-eficiência. Embora os ADEs apresentem propriedades ótimas para processos de eletrooxidação de moléculas orgânicas, sua aplicação em degradação de corantes têxteis é ainda incipiente. Diante disso, o presente estudo se ampara na investigação da eficiência de eletrodos do tipo ADE, com a composição $\text{Ti/IrO}_2\text{-SnO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$, frente a condução de processos de OEI aplicados à remoção/degradação do corante textil RB-5 presente em efluente sintético.

Metodologia

Os ensaios eletroquímicos foram desenvolvidos empregando um potenciostato/galvanostato Autolab PGSTAT 128N (Metrohm Autolab), uma célula eletroquímica de vidro composta por um eletrodo de trabalho do tipo ADE com a configuração $\text{Ti/IrO}_2\text{-SnO}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5$ (variando-se as composições dos óxidos mistos de Ir/Sn/Ta em 30:65:05; 30:60:10; 30:50:20 e 30:40:30), uma placa de platina como contra-eletrodo e um eletrodo de $\text{Ag/AgCl}_{\text{sat}}$ como referência. A solução de RB-5, na concentração de 120 mg L^{-1} , foi preparada em presença de cloreto de sódio (NaCl) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$. Todos os reagentes usados foram de grau analítico e a água ultrapura empregada foi obtida pelo sistema de purificação Mili Q®.

A técnica de cronopotenciometria foi empregada nos ensaios de degradação, aplicando-se um valor fixo de corrente de $5,0 \text{ mA}$ durante 5900 s a uma temperatura de 25°C . Aliquotas da solução de corante foram retiradas em tempos pré-estabelecidos ($60 \text{ s} - 5900 \text{ s}$) e analisadas utilizando um espectrofotômetro de absorção no UV-Vis (Thermo Scientific™ GENESYS™ 10S). As análises espectroscópicas envolveram o método de varredura de comprimento de onda, compreendendo uma faixa de 200 nm a 720 nm . Os resultados coletados foram convertidos em medidas de concentração pelo método da curva de calibração. Os parâmetros relativos ao processo de degradação foram determinados a partir das seguintes equações. Na Equação 01 verifica-se o Índice de Descolorização (%) ID e na Equação 02 a constante de velocidade aparente.

$$(\%)ID = \frac{ABS_0 - ABS_t}{ABS_0} * 100 \quad (1)$$

$$\ln\left(\frac{C_0}{C}\right) = -k_{app}t \quad (2)$$

Nestas equações, os termos ABS_0 e ABS_t correspondem as absorbâncias máximas em dado comprimento de onda do visível, nos estágios inicial e no tempo t ao processo de eletrólise, respectivamente. Ainda, C_0 e C são as concentrações do corante no instante $t = 0 \text{ s}$ e em $t \neq 0 \text{ s}$, respectivamente; k_{app} é a constante de velocidade aparente de Pseudoprimeira ordem (s^{-1}). Já t corresponde ao tempo (s).

Análise acerca da demanda química de oxigênio (DQO) foi desenvolvida empregando-se o método do refluxo fechado com determinação colorimétrica, descrito pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (2012). A atenuação dos valores de DQO, bem como a estimativa do consumo de energia específico por volume (CEE) relacionados ao processo de degradação do corante RB-5 puderam ser estimados a partir das Equações 03 e 04.

$$DQO(\%) = \frac{DQO_0 - DQO_f}{DQO_0} * 100 \quad (3)$$

$$CEE(\%) = \frac{VIt}{v} \quad (4)$$

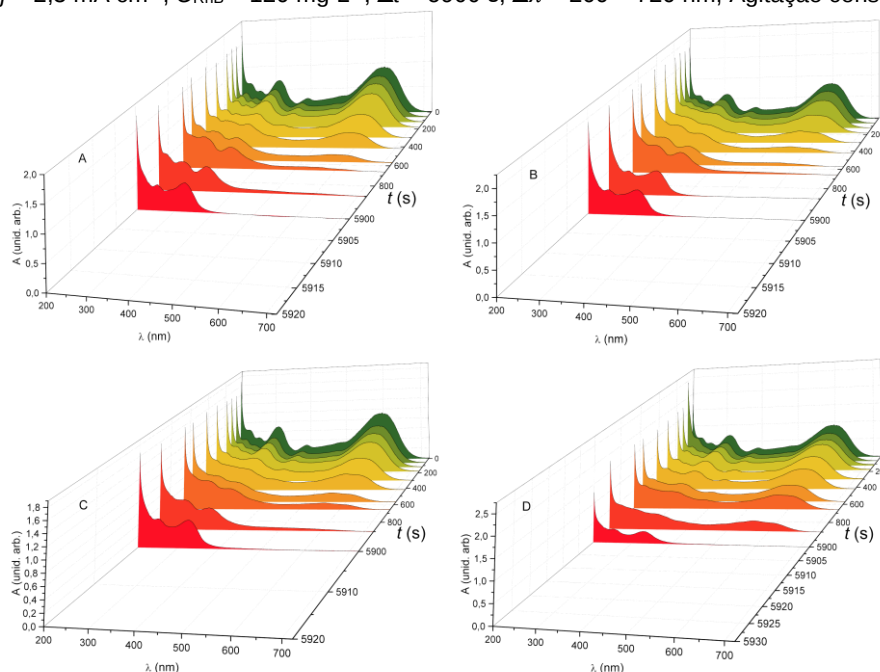
Em que DQO_0 e DQO_f correspondem, respectivamente, aos valores de DQO iniciais e finais em mg L^{-1} . Já V corresponde ao potencial (V), i a corrente elétrica (A), t é o tempo em segundos e v corresponde ao volume de efluente tratado (m^3).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Resultados e Discussão

A partir da metodologia apresentada, torna-se possível elucidar o comportamento do corante RB-5 nos diferentes estágios do procedimento eletroquímico, bem como obter um conjunto de parâmetros de eficiência relativos ao processo. Uma das principais variáveis de acompanhamento da extensão da reação reside na aferição do comportamento espectral da molécula de interesse durante a eletrólise. A Figura 01 apresenta os espectros na região do UV-Visível do corante, sob determinados intervalos de tempo e composições de eletrodo.

Figura 01 – Comportamento espectral do RB-5 em função do tempo decorrido no procedimento eletroquímico para as composições de eletrodo (Ir/Sn/Ta) (A) 30:65:05; (B) 30:60:10; (C) 30:50:20 e (D) 30:40:30. Condições operacionais: $j = 2,5 \text{ mA cm}^{-2}$; $C_{\text{RB}} = 120 \text{ mg L}^{-1}$; $\Delta t = 5900 \text{ s}$; $\Delta \lambda = 200 - 720 \text{ nm}$; Agitação constante; $T = 25^\circ\text{C}$.



Fonte: O autor (2023).

Os perfis espectrais indicaram uma diminuição progressiva do pico de absorção em 599 nm, juntamente com um deslocamento deste para menores comprimentos de onda (523 nm). Essa característica foi comprovada por meio de uma mudança de cor na solução, inicialmente azul, para vermelho no final, devido à alterações a nível estrutural na molécula de RB-5 durante a execução do procedimento eletroquímico (SONI *et al.*, 2020). De acordo com Cañizanes *et al.*, (2006) e Soni *et al.* (2020) a ocorrência de OEI promovida por espécies cloro-ativas (Cl_2 , OCl^- e HOCl) visa conduzir processos de oxidação mais intensos por meio da quebra de ligações π originalmente presentes em sistemas instaurados conjugados, os quais garantem alta estabilidade à molécula alvo. Especificadamente para o RB-5, o mecanismo de atuação dos mediadores concentra-se na quebra das ligações azo ($-\text{N}=\text{N}-$) com subsequente formação de intermediários de reação. De acordo com Jager *et al.* (2018), dentre os principais intermediários gerados durante a OE de RB-5, os derivados de isoxazol formados pela ciclização da molécula original e aromáticos orto e para substituídos são considerados os mais proeminentes.

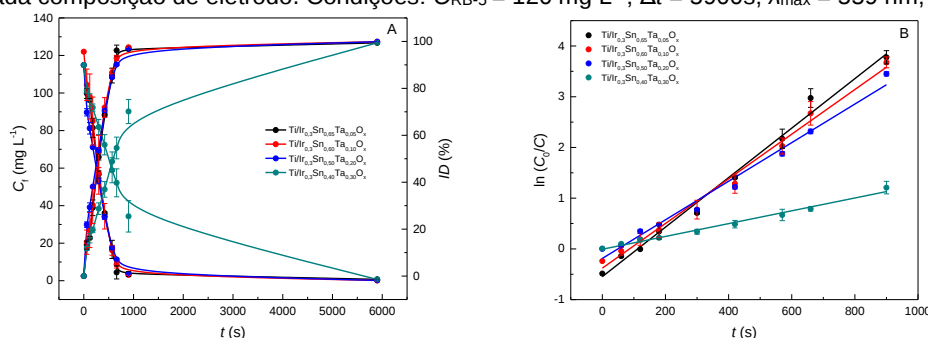
Ademais, percebe-se também que as composições dos ADEs influenciaram em grande proporção no comportamento espectral da solução. Nesta perspectiva, a eletrólise com o material Ir/Sn/Ta 30:40:30 apresentou as menores atenuações do pico cromóforo para o mesmo intervalo de tempo. Por outro lado, para a composição Ir/Sn/Ta 30:65:05, verificou-se uma rápida atenuação nos valores de absorbância do pico cromóforo. Esse aspecto pode ser justificado pelo caráter indireto do processo eletroquímico conduzido. Isso porque, a reação de formação de mediadores cloro-ativos (principal responsável pela reação de degradação) potencialmente ocorreu de maneira menos favorável sobre

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

superfície do Ir/Sn/Ta 30:40:30, impactando no comportamento geral de degradação (COLEDAM *et al.*, 2018).

Os valores de concentração da solução ao longo das eletrólises permitiram obter os parâmetros cinéticos e de eficiência de remoção. A Figura 02 A mostra o decaimento da concentração e %ID em função do tempo de procedimento decorrido; já a Figura 02 B mostra a regressão linear dos dados de concentração ao modelo de Pseudoprimeira ordem, o qual permite obter as constantes de velocidade aparente do processo (k_{app}).

Figura 02 – Perfis gráficos do (A) índice de descolorização e atenuação da concentração do RB-5, nos instantes $t = 0$ s e $t \neq 0$ s; e (B) comportamento de regressão linear de concentrações ao modelo de Pseudoprimeira ordem, para cada composição de eletrodo. Condições: $C_{RB-5} = 120 \text{ mg L}^{-1}$; $\Delta t = 5900$ s; $\lambda_{\text{máx}} = 559 \text{ nm}$; $T = 25^\circ\text{C}$.



Fonte: O autor (2023)

Conforme observado na Figura 02 A, a completa descolorização foi obtida em um tempo de 900 s para as composições de eletrodo Ir/Sn/Ta 30:65:05; 30:60:10 e 30:50:20, enquanto que para a composição Ir/Sn/Ta 30:40:30 um tempo de 5900 s foi demandado para o desaparecimento da cor da solução de corante. De acordo com a Equação 02, a inclinação da reta (Figura 02 B) corresponde ao valor da constante de velocidade de Pseudoprimeira ordem (k_{app}). Os valores desse parâmetro (Tabela 1) indicam que a cinética de degradação do corante se apresentou rápida para a composição com a menor porcentagem de Tântalo (Ta), se tornando mais lenta para eletrodos com maiores proporções de Ta. Os valores de determinação da DQO e CEE também estão mostrados na Tabela 01.

Tabela 01 –Parâmetros de eficiência oriundos dos ensaios de degradação do corante RB-5 promovidos por ADEs sob diferentes composições. Condições: $j = 2,5 \text{ mA cm}^{-2}$, $V_{\text{célula}} = 20,0 \text{ mL}$, $\Delta t = 5900 \text{ s}$, $T = 25^\circ\text{C}$.

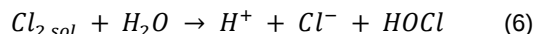
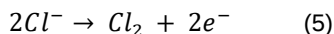
Parâmetros	Ti/IrO ₂ -SnO ₂ -Ta ₂ O ₅			
	30:65:05	30:60:10	30:50:20	30:40:30
$k_{app} \text{ (s}^{-1}\text{)}$	0,0050	0,0044	0,0038	0,0013
$t_{1/2} \text{ (s)}$	138,6	157,5	182,4	533,2
ID (%)	99,98	99,87	99,83	99,40
DQO (%)	67,65	61,11	57,28	32,47
CEE (kWh m ⁻³)	0,491	0,500	0,486	0,508

Fonte: O autor (2023).

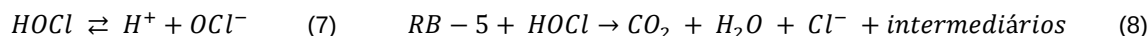
As constantes de velocidade apresentaram valores na ordem de 10^{-3} s^{-1} , sugerindo que o processo global de degradação apresenta uma cinética rápida e de extensão completa, assim como verificado por Rajkumar *et al.* (2006). Do mesmo modo, o tempo de meia vida seguiu a mesma tendência, ou seja, menores tempos para de eletrólise com ADEs com menor proporção de Ta. Considerando o tempo de 5900 s de eletrólise, os valores de ID se apresentaram próximos, visto que nesse estágio uma completa descolorização foi alcançada para todas as composições. Em relação ao comportamento da análise de DQO, percebe-se que a composição Ir/Sn/Ta 30:65:05 propiciou uma redução de aproximadamente 67,65%, na DQO do efluente sintético. Em termos comparativos, estudos conduzidos por Soni *et al.* (2020) e Soni e Ruparelia (2013), verificou-se uma redução de 53% na DQO de RB-5 e de 75% para o corante Violeta Cristal. Ainda, para todas as composições, o consumo específico de energia se apresentou em torno de 0,49 – 0,50 kWh m⁻³. Esses valores estão de acordo com àqueles reportados na literatura por Oliveira *et al.* (2007).

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

Acerca dos aspectos envolvidos na degradação do RB-5, a extensão da reação de desprendimento de cloro (RDCI), a qual constitui-se como principal mecanismo de geração de medadores oxidantes, é governada por uma série de fatores como: (i) a concentração de íons cloreto em solução; (ii) densidade de corrente empregada no procedimento e (iii) composição do eletrodo de trabalho (BADDUOH *et al.*, 2018). No presente estudo, os ADEs (Ti/IrO₂-SnO₂-Ta₂O₅) foram utilizados em solução contendo íons cloreto com vistas em eletrogerar mediadores cloro-ativos (Cl₂, HOCl e OCl⁻), conforme descrito pelas Equações (5) e (6).



De modo geral, a concentração do ácido fraco e de sua base conjugada serão influenciados pelo pH do meio. Nesse sentido, o equilíbrio de ionização de HOCl em meio aquoso poderá ser representado pela Equação (7). Ainda, considerando o pH de 5,50, percebe-se que os principais mediadores atuantes na reação de degradação de RB-5 será o ácido hipocloroso, conforme Equação (8).



Como a RDCI é dependente da composição do eletrodo, logo as propriedades estruturais dos ADEs podem auxiliar favoravelmente o comportamento cinético de degradação sob composições com menores teores de Ta. Partindo desse pressuposto, estudos desenvolvidos por Luna-Trujillo *et al.* (2020) atestam que em ADEs binários do tipo Ir/Sn, a camada de SnO₂ favorece em grande proporção a dispersão do Ir na superfície do eletrodo, garantindo um aumento da Área Eletroquimicamente Ativa e uma melhora geral nos processos faradaicos subsequentes. Ademais, constata-se que o aumento no teor de Ta e a redução de Sn na superfície do eletrodo potencialmente promoveu uma redução geral na dispersão de Ir, o qual exerce um papel fundamental na reação de desprendimento de Cloro. Adicionalmente, de acordo com Ribeiro e De Andrade (2006), a formação da estrutura de Ta₂O₅ ocorre preferencialmente sob condições de temperaturas entre 750°C a 800°C; condições as quais os eletrodos não foram submetidos, o que por consequência pode contribuir para a redução da homogeneidade na camada de óxidos (MO_x). Todos esses fatores combinados justificam a redução gradual dos parâmetros de eficiência de degradação do RB-5 perante o aumento do teor de Ta nos eletrodos.

Conclusão

No presente trabalho, a investigação acerca do processo de degradação do RB-5 por meio de mediadores cloro-ativos se mostrou cineticamente rápido, favorável e completa. A eficiência do processo foi diretamente impactada pela composição do eletrodo de trabalho, sendo constatado que a melhor composição para a condução de processos baseados em OEI – Cl₂ foi Ir/Sn-Ta 30:65:05. Foi possível obter uma completa descolorização no tempo de 900 s, acompanhado de uma cinética de PPO com constante de velocidade aparente de 0,0050 s⁻¹. Ainda, as composições com 5%, 10% e 20% de Ta apresentaram as maiores quedas para a DQO. Em relação ao CEE, os valores foram próximos para todos os ADEs. Por fim, verificou-se que a redução dos índices de eficiência do processo em virtude do aumento do teor de Ta pode ser explicado por meio de fatores estruturais. Com isso, conclui-se que o sistema eletroquímico baseado em Ti/Ir_{0,3}Sn_{0,65}Ta_{0,05}O_x – Cl₂ apresenta características adequadas para ser empregado na degradação de corantes dispostos em meio aquoso.

Referências

- BADDUOH, A. *et al.* Electrochemical decolorization of Rhodamine B dye: Influence of anode material, chloride concentration and current density. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 2, p. 2041–2047, abr. 2018.
- BRILLAS, E. A review on the photoelectro-Fenton process as efficient electrochemical advanced oxidation for wastewater remediation. Treatment with UV light, sunlight, and coupling with conventional and other photo-assisted advanced technologies. **Chemosphere**, v. 250, p. 126198, jul. 2020.
- CAÑIZARES, P. *et al.* Measurement of Mass-Transfer Coefficients by an Electrochemical Technique. **Journal of Chemical Education**, v. 83, n. 8, p. 1204, 1 ago. 2006.
- COCKERHAM, C. *et al.* Azo-Dye-Functionalized Polycarbonate Membranes for Textile Dye and Nitrate Ion Removal. **Micromachines**, v. 13, n. 4, p. 577, 7 abr. 2022.

A era digital e suas implicações sociais: Desafios e contribuições

- COLEDAM, D. A. C. *et al.* On the performance of HOCI/Fe²⁺, HOCI/Fe²⁺/UVA, and HOCI/UVC processes using in situ electrogenerated active chlorine to mineralize the herbicide picloram. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 227, p. 170–177, 2018.
- COURA, J. C.; PROFETI, D.; PROFETI, L. P. R. Eco-friendly chitosan/quartzite composite as adsorbent for dye removal. **Materials Chemistry and Physics**, v. 256, p. 123711, dez. 2020.
- DOMINGUEZ, C. M. *et al.* Removal of organochlorine pesticides from lindane production wastes by electrochemical oxidation. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 35, p. 34985–34994, 14 dez. 2018.
- JAGER, D. *et al.* Degradation of Reactive Black 5 by electrochemical oxidation. **Chemosphere**, v. 190, p. 405–416, jan. 2018.
- JAWAD, T. M. *et al.* Synergistic Effect of dark and photoreactions on the removal and photo-decolorization of azo carmosine dye (E122) as food dye using Rutile- TiO₂ suspension. **Egyptian Journal of Chemistry**, p. 0–0, 21 abr. 2021.
- KHAYET, M.; ZAHIRIM, A. Y.; HILAL, N. Modelling and optimization of coagulation of highly concentrated industrial grade leather dye by response surface methodology. **Chemical Engineering Journal**, v. 167, n. 1, p. 77–83, fev. 2011.
- KOLESNIKOV, V. A. *et al.* Investigation of Electrodes with an Active Layer of a Mixture of the Oxides TiO₂, RuO₂, SnO₂. **Glass and Ceramics**, v. 75, n. 3, p. 148–153, 2018.
- LUNA-TRUJILLO, M. *et al.* Formation of active chlorine species involving the higher oxide MO_x+1 on active Ti/RuO₂-IrO₂ anodes: A DEMS analysis. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 878, p. 114661, dez. 2020.
- MAROUDAS, A. *et al.* Synergetic decolorization of azo dyes using ultrasounds, photocatalysis and photo-fenton reaction. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 71, p. 105367, mar. 2021.
- OLIVEIRA, F. H. *et al.* Electrochemical oxidation of an acid dye by active chlorine generated using Ti/Sn(1-x)Ir x O₂ electrodes. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 37, n. 5, p. 583–592, 7 maio 2007.
- OLLER, I.; MALATO, S.; SÁNCHEZ-PÉREZ, J. A. Combination of Advanced Oxidation Processes and biological treatments for wastewater decontamination—A review. **Science of The Total Environment**, v. 409, n. 20, p. 4141–4166, set. 2011.
- PRAMUGANI, A. *et al.* Decolorization and Biodegradability Enhancement of Synthetic Batik Wastewater Containing Reactive Black 5 and Reactive Orange 16 by Ozonation. **Water**, v. 14, n. 20, p. 3330, 21 out. 2022.
- RAJKUMAR, D.; KIM, J. G. Oxidation of various reactive dyes with in situ electro-generated active chlorine for textile dyeing industry wastewater treatment. **Journal of hazardous materials**, v. 136, n. 2, p. 203–212, 2006.
- RAMSAY, J. A.; NGUYEN, T. Decoloration of textile dyes by *Trametes versicolor* and its effect on dye toxicity. **Biotechnology Letters**, v. 24, n. 21, p. 1757–1761, 2002.
- RIBEIRO, J.; DE ANDRADE, A. R. Investigation of the electrical properties, charging process, and passivation of RuO₂-Ta₂O₅ oxide films. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 592, n. 2, p. 153–162, jul. 2006.
- RICE, E. W.; BRIDGEWATER, L.; ASSOCIATION, A. P. H. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American public health association Washington, DC. v. 10, 2012.
- SALEH, I. A.; ZOUARI, N.; AL-GHOUTI, M. A. Removal of pesticides from water and wastewater: Chemical, physical and biological treatment approaches. **Environmental Technology & Innovation**, v. 19, p. 101026, ago. 2020.
- SAXENA, P.; RUPARELIA, J. Influence of Supporting Electrolytes on Electrochemical Treatability of Reactive Black 5 Using Dimensionally Stable Anode. **Journal of The Institution of Engineers (India): Series A**, v. 100, n. 2, p. 299–310, 16 jun. 2019.
- SONI, B. D. *et al.* Electrochemical destruction of RB5 on Ti/PtOx–RuO₂–SnO₂–Sb₂O₅ electrodes: a comparison of two methods for electrode preparation. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 17, n. 2, p. 903–916, 14 fev. 2020.
- STETER, J. R.; BRILLAS, E.; SIRÉS, I. On the selection of the anode material for the electrochemical removal of methylparaben from different aqueous media. **Electrochimica Acta**, v. 222, p. 1464–1474, 2016.
- TITCHOU, F. E. *et al.* An overview on the elimination of organic contaminants from aqueous systems using electrochemical advanced oxidation processes. **Journal of Water Process Engineering**, v. 41, n. April, p. 102040, jun. 2021.
- VASCONCELOS, V. M. *et al.* Electrochemical degradation of RB-5 dye by anodic oxidation, electro-Fenton and by combining anodic oxidation–electro-Fenton in a filter-press flow cell. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, v. 765, p. 179–187, mar. 2016.
- WIELEWSKI, L. P. *et al.* Degradation of the Textile Dye Reactive Black 5 by Basidiomycetes. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 15, n. 1, p. 1, 3 fev. 2020.
- ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. **Caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. Ed. Cultura Acadêmica: São Paulo, 2016.

Agradecimentos

À Capes, Fapes e CNPq.