

DEGRADAÇÃO DE ATENOLOL VIA OXIDAÇÃO ANÓDICA EM SISTEMA COM ALIMENTAÇÃO FOTOVOLTAICA

Alex L. A. Lucena; Diego D. Melo; Alice M. Santos; Daniella C. Napoleão

Palavras-Chave: Processos oxidativos avançados eletroquímicos, Cinética, Fármaco

Introdução

Os fármacos são produtos biologicamente ativos e projetados de forma a gerar efeitos específicos nos organismos. Seu uso varia desde o tratamento e controle de doenças além de diagnósticos específicos (Wennmaln, 2019; Branchet *et al.*, 2021).

Estes compostos, após o uso, são excretados de forma semi-metabolizada e seguem nas redes de coletas de esgoto, onde, em sua maioria, as estações de tratamento de efluentes (ETE) convencionais não possuem tratamentos físico-químico e biológicos capazes de os degradar completamente (Chowdhury *et al.*, 2020; Rosi *et al.*, 2022). De forma que estes poluentes passam pelas ETE e eventualmente atingem as matrizes aquáticas e meio ambiente, causando riscos para fauna e flora (Klatte; Schaefer; Hempel, 2017; Mahjoub; Chmengui, 2021; Servien *et al.*, 2022).

Estes compostos são bioacumulativos e podem causar mudanças nos padrões de crescimento da fauna, além de alterações de sexo e na reprodução de diferentes espécies aquáticas, além de afetar múltiplos níveis de diferentes teias alimentares e facilitar o aparecimento de microorganismos resistentes aos mesmos, como as superbactérias (Roig; Weiss; Thireau, 2019; Vaudin *et al.*, 2022; Veseli *et al.*, 2022).

De uma forma geral, as classes de fármacos mais comumente consumidas são: insulina e análogos, antidepressivos, antibióticos, antiepiléticos, anti-inflamatórios, medicamentos utilizados no controle e tratamento de câncer, antiparasitários, antiepiléticos e reguladores lipídicos, todos exigindo atenção devido à sua detecção crescente na natureza (Hong *et al.*, 2021; Tkaczyk *et al.*, 2021; Xiang *et al.*, 2021; Omotola, *et al.*, 2022). Com o nível de contaminação referente a estes apresentando diferenças baseadas no seu uso contínuo pela população (Guo *et al.*, 2021; Kaya *et al.*, 2022).

A implementação de tratamentos eficazes para degradar esses compostos é crucial, e entre os recursos existentes destacam-se os processos oxidativos avançados eletroquímicos (POAE). Nestes processos não há a necessidade de se adicionar agentes oxidantes externos, comumente empregados nos POA clássicos, com a degradação dos contaminantes ocorrendo em células eletrolíticas, onde os elétrons são os principais reagentes (Li *et al.*, 2019; Liu *et al.*, 2020; Santos *et al.*, 2021). Os POAE são caracterizados por serem eficientes e limpos, onde as espécies radicais altamente reativas como o radical hidroxila são gerados eletroquimicamente, a partir da criação de uma diferença de potencial entre eletrodos, para degradar contaminantes (Pereira *et al.*, 2020; García-Espinoza *et al.*, 2021).

A eficiência dos POAE é regida por certo número de variáveis que englobam: o tipo de eletrólito utilizado, a densidade de corrente ou voltagem aplicada ao meio, o tipo de contaminante ou efluente submetido ao tratamento e suas características, além dos eletrodos utilizados. Para este último deve-se considerar ainda o par de eletrodo, a área de reação, a distância entre os eletrodos empregados e a natureza das espécies reativas geradas (Ltaief *et al.*, 2017; Ganiyu; Martínez-Huitle; Oturan, 2021).

Outra consideração importante é que uma vez que estes processos utilizam energia elétrica como alimentação, esta pode ser gerada a partir de fontes renováveis, sustentáveis e verdes, como a energia solar (Nadaleti; Souza; Souza, 2022). Com essa fonte de energia apresentando uma elevada disponibilidade no Brasil, tendo em vista a exposição à radiação

solar, em especial na região nordeste, durante todo o ano (Assireu *et al.*, 2022). Neste cenário, a utilização de painéis fotovoltaicos como fonte para geração de energia e aplicação desta nos POAE pode ser uma alternativa que apresente baixo custo operacional, exija baixa manutenção, além de alta confiabilidade, além de minimizar impactos ambientais relacionados a geração energética para os processos de tratamento (Alaaeddin *et al.*, 2019; Ganiyu *et al.*, 2019).

Dentre os POAE mais comuns destacam-se a foto-eleto-catálise, o eletro-Fenton (EF), o foto-eleto-Fenton (FEF), além do sono-eleto-Fenton (SEF) e da oxidação anódica (OA), este último o mais comumente aplicado, devido a facilidade de montagem do sistema (Ameta; Ameta, 2018; Titchou *et al.*, 2021). Na oxidação anódica, os contaminantes ou compostos orgânicos são oxidados na superfície do ânodo por reações de transferência de elétrons. Desta forma, os radicais hidroxila e outras espécies reativas são formadas na superfície do ânodo, o que caracteriza este POAE como um processo direto (Ganzenko *et al.*, 2014; Salazar *et al.*, 2018; Ganiyu; Martínez-Huitle; Oturan, 2021).

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a degradação de contaminante farmacêutico atenolol em solução aquosa, frente ao processo de oxidação anódica utilizando uma alimentação energética por sistema fotovoltaico *off-grid*.

Material e Métodos

Soluções de trabalho e método analítico

O princípio ativo para o fármaco atenolol foi obtido das Farmácias Globo de Manipulação. A partir do mesmo foi construída uma solução estoque, de $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ em água destilada e em seguida diluída a uma concentração de $15 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ para a solução de trabalho.

A identificação e quantificação do fármaco foi realizada por metodologia, via espectrofotometria de absorção molecular na região do ultravioleta/visível (UV/Vis) (Thermoscientific). Em seguida foi construída uma curva analítica, em 7 replicatas, com faixa linear de concentração de 1 a $30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Para este método foram determinados parâmetros de linearidade (teste de Grubbs), precisão, exatidão, limite de detecção (LD) e limite de quantificação (LQ), conforme resolução da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Brasil, 2017).

Eletrodos, eletrólitos e sistema POAE

Dois tipos de eletrodos foram selecionados para a montagem do sistema POAE, bastões cilíndricos de grafite comercial (10 cm de comprimento x 0,5 cm de diâmetro) e cobre comercial (10 cm de comprimento x 0,2 cm de diâmetro) e cloreto de potássio (KCl) como eletrólito em uma concentração de $0,1 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

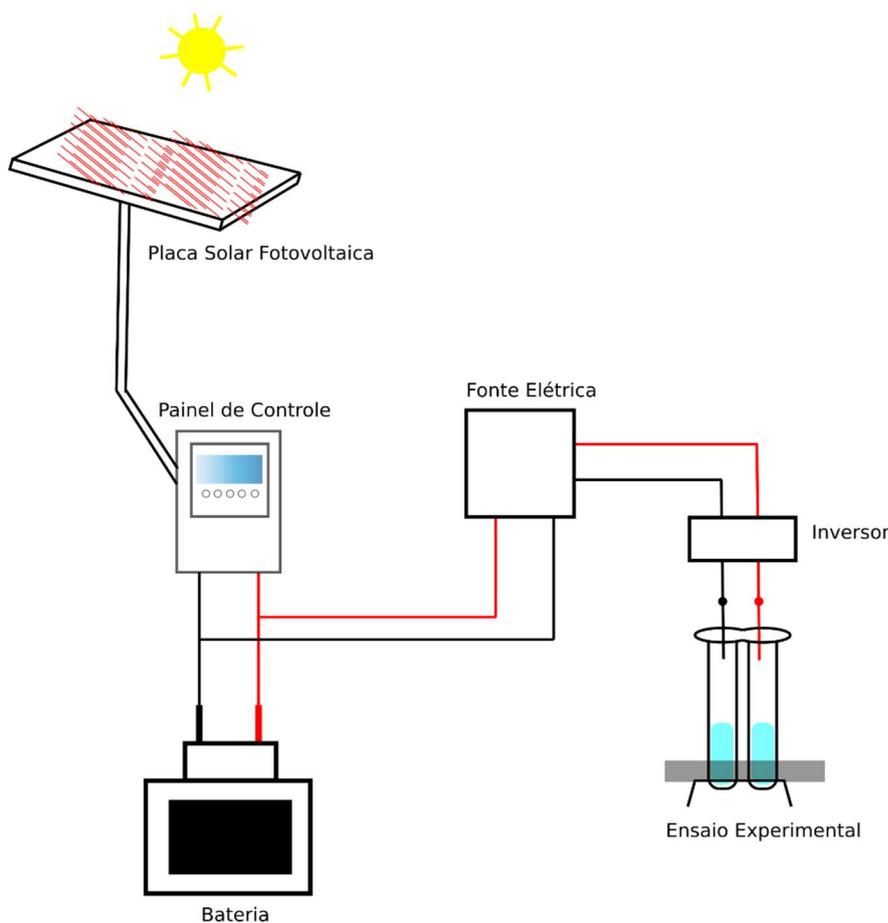
O sistema para o processo de oxidação anódica foi montado com os eletrodos arranjados em pares cátodo-ânodo composto por grafite-cobre. As condições de trabalho utilizadas foram: 3 cm de distância entre os eletrodos, 1,5 cm de profundidade para os eletrodos de grafite e 4,01 cm para os de cobre (diferença decorrente da diferença de diâmetro de ambos e de forma a garantir a mesma área superficial para o processo), 200 mL de volume da solução contendo o contaminante farmacêutico e quatro voltagens para o sistema, 4V, 5V, 10V e 18V. A degradação do atenolol foi avaliada frente ao processo de oxidação anódica para cada uma das condições citadas durante um período de 60 min.

Após estes testes iniciais de degradação foi realizada uma avaliação cinética, estendendo-se o tratamento até 150 min. Com alíquotas do atenolol sendo retiradas nos tempos

de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 75, 90, 105, 120 e 150 min. Os dados obtidos deste ensaio cinético foram analisados em conjunto com o modelo de pseudo-primeira ordem de Chan e Chu (2003).

Toda a alimentação energética utilizada para realização destes ensaios foi alimentada com um sistema fotovoltaico *off-grid* constituído por um painel solar fotovoltaico, aparelho controlador de carga, um inversor de corrente e uma bateria estacionária, conforme Figura 1.

Figura 1: Modelo do sistema fotovoltaico *off-grid*.



A placa solar (BYD 335-PHK-26 Poli (335 Wp)) opera captando energia solar e transformando em corrente elétrica contínua. Esta é convertida a corrente alternada para alimentação de equipamentos pelo inversor de corrente (Hayonik – 750 W / 12 Vcc / 210 Vac / 60 Hz Onda Modificada). O sistema conta ainda com uma bateria estacionária para armazenamento (Moura 12MN105) que permite operação mesmo com a placa solar desacoplada (modo *off-grid*), além de garantir uma oferta constante de corrente por períodos longos de tempo. Por fim, um controlador de carga (MPPT Epever 30A 12/24V) protege a bateria de ações de descarga abrupta ou sobrecarga, auxiliando no controle energético do sistema e aumentando a vida útil da mesma. O controlador de carga atua prevenindo o superaquecimento do sistema e consequentemente prevenindo acidentes, de forma que este é conectado a bateria, inversor e placa.

Resultados e Discussão

Os comprimentos de onda de máxima absorvância identificados para o atenolol pela metodologia via espectrofotometria de ultravioleta visível foram 224 nm e 273 nm. Baseando-se nestes comprimentos de onda de máxima absorvância foram construídas curvas analíticas de 1 a 30 mg·L⁻¹. Estes apresentaram linearidade, com valores de coeficiente de correlação superiores a 0,99, além de parâmetros do teste de Grubbs inferiores a 1,938, valor tabelado para 7 replicatas, atendendo assim aos critérios de linearidade estabelecidos pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2020) e da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2003).

A precisão do método foi determinada com base nos valores do coeficiente de variância (CV), que se apresentaram inferiores a 6,85% para 224 nm e a 9,66% para 273 nm. Ambos os resultados atendem ao limite de 20% estabelecido para amostras de fármacos, conforme Gad (2007). A exatidão do método foi determinada com base na recuperação do fármaco, com valores de 90,37% ± 1,94% para 224 nm e 91,14% ± 2,27% para 273 nm, estando nos limites de 80 a 120% estabelecidos pela ANVISA (Brasil, 2003). Os limites de detecção e de quantificação foram de respectivamente 0,313 mg·L⁻¹ e 0,948 mg·L⁻¹ para 224 nm e de 0,455 mg·L⁻¹ e 1,380 mg·L⁻¹ para 273 nm.

Uma vez validado o método para quantificação do atenolol antes e após a degradação via oxidação anódica, foram realizados os testes iniciais em 60 min e fixando-se a voltagem em 18 V. Estes apresentaram degradações para solução aquosa do fármaco de 92,39% em 224 nm e de 58,81% em 273 nm.

Em seguida o efeito da variação da voltagem do sistema, considerando os valores de 18V, 10V, 5V e 4V foi avaliado, sempre mantendo-se a corrente máxima da fonte elétrica em cada caso. Os resultados estão expostos na Tabela 1.

Tabela 1: Efeito da voltagem do sistema na degradação do Atenolol após 60 min de tratamento por oxidação anódica em sistema com alimentação fotovoltaica. **Condições experimentais:** 3 cm de distância entre os eletrodos, 1,5 cm de profundidade (grafite) e 4,01 cm (cobre), 200 mL de volume da solução e 15 mg·L⁻¹ de concentração inicial dos fármacos.

Voltagem (V)	Degradação (%)	
	224 nm	273 nm
18	92,39% ± 3,54%	58,81% ± 1,63%
10	70,58% ± 1,13%	49,60% ± 2,35%
5	38,24% ± 2,17%	18,53% ± 2,48%
4	4,41% ± 1,1314%	0

Analisando a Tabela 1, nota-se que diminuir a voltagem do sistema gera um decréscimo na eficiência do processo de degradação por oxidação anódica para ambos os λ do atenolol,

considerando 60 min de tratamento. Sendo observado que ao diminuir a voltagem do sistema para 4V o processo apresenta degradação inferior a 5% para 224 nm e nula para 273 nm. Um indicativo que o decréscimo da voltagem e desta forma, a diminuição da disponibilidade máxima de corrente para o sistema leva a uma queda na taxa de reação eletroquímica, afetando a eficiência do processo, com o mesmo não atingindo energia suficiente em 4V.

Desta forma, estabeleceu-se 18V como padrão para os ensaios de degradação por oxidação anódica com a solução aquosa de atenolol. Em seguida foi realizada uma avaliação cinética da degradação do fármaco, com o tempo do processo sendo estendido até 150 min. Sendo observados valores de degradação para o atenolol de 99,08% para 224 nm e de 87,25% para 273 nm. Os resultados para a avaliação cinética do atenolol estão expostos na Figura 2, enquanto os dados de ajuste ao modelo de pseudo-primeira ordem de Chan e Chu (2003) estão dispostos na Tabela 2.

Figura 2: Ajuste ao modelo proposto por Chan e Chu (2003) para a degradação do fármaco atenolol frente ao processo de oxidação anódica: a) 224 nm e b) 273 nm.

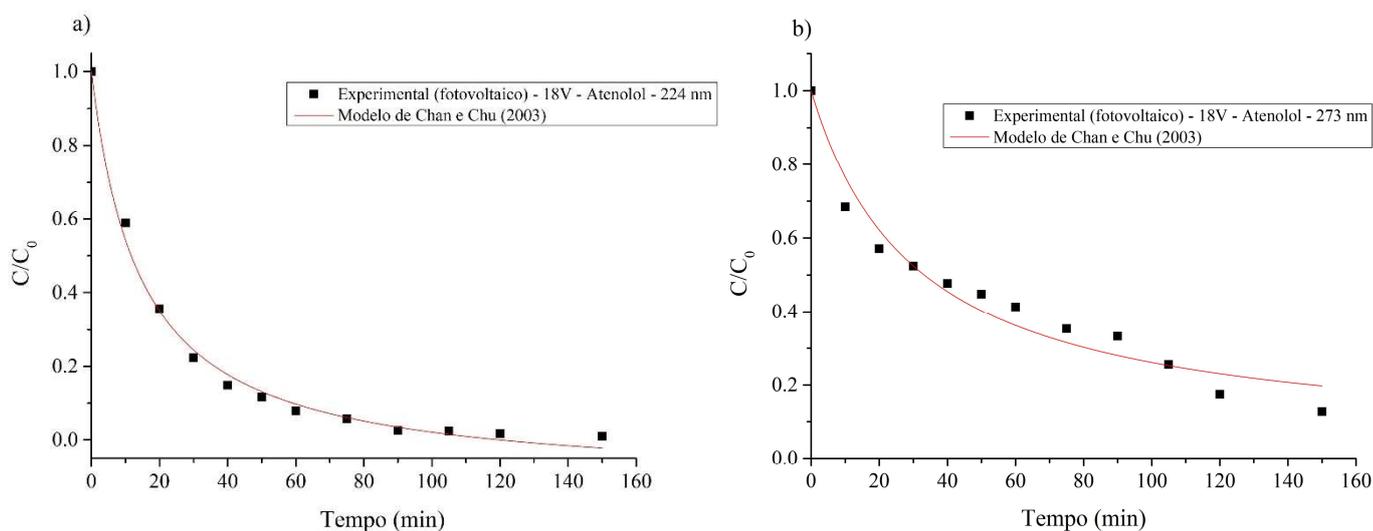


Tabela 2: Parâmetros cinéticos para o modelo de Chan e Chu (2003) para a degradação do atenolol via oxidação anódica com alimentação por sistema fotovoltaico.

Comprimento de onda (nm)	Degradação após 150 min (%)	$1/\rho$	$1/\sigma$	R^2	S_{R^2}
224 nm	99,08	0,0773	1,1201	0,99	0,0054
273 nm	87,25	0,0310	0,9699	0,95	0,0026

Analisando a Tabela 2, nota-se que os dados experimentais se ajustaram bem ao modelo cinético de Chan e Chu (2003), descrevendo bem a degradação do atenolol sob

oxidação anódica com alimentação fotovoltaica. Com os valores de R^2 superiores a 0,95 para ambos os λ e de S_R^2 inferiores a 0,0055.

Conclusões

A degradação do fármaco atenolol, em solução aquosa, pelo processo de oxidação anódica alimentado por fonte fotovoltaica e com um arranjo constituído por eletrodos de grafite e cobre (cátodo e ânodo, respectivamente) e com a aplicação de cloreto de potássio como eletrólito apresentou resultados satisfatórios. Os ensaios preliminares de 60 min já mostraram de degradação de 92,39 para 224 nm e de 58,81 para 273 nm.

Aumentando-se o tempo de processo para 150 min nos ensaios cinéticos foram observadas degradações de 99,08 para 224 nm e de 87,25 para 273 nm. Em conjunto foi possível verificar que o modelo cinético de pseudo primeira ordem proposto por Chan e Chu descreveu bem o comportamento de degradação do fármaco, com valores de R^2 superiores a 0,95.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de PE (FACEPE) pela concessão de bolsa, à FACEPE APQ 0947-3.06/22 e à FADE/UFPE.

Referências

- Ahuja, S. *Comprehensive Water Quality and Purification*. v.1, Preface. Elsevier Inc. Waltham, USA, 2019.
- Alaaeddin, M. H.; Sapuan, S. M.; Zuhri, M. Y. M.; Zainudin, E. S.; Al-Oqla, F. M. Photovoltaic applications: Status and manufacturing prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 102, 318 – 332, 2019.
- Ameta, S.; Ameta, R. *Advanced Oxidation Processes for Wastewater Treatment*. 1ª ed., London, UK: Academic Press, Elsevier Inc, 2018.
- Assireu, A. T.; Pimenta, F. M.; Freitas, R. M.; Saavedra, O. R.; Neto, F. L. A.; Torres Júnior, A. R.; Oliveira, C. B. M.; Lopes, D. C. P.; Lima, S. L.; Veras, R. B. S.; Saraiva, N. P.; Marcondes, L. P. G.; Oliveira, D. Q. EOSOLAR Project: Assessment of Wind Resources of a Coastal Equatorial Region of Brazil – Overview and Preliminary Results. **Energies**.15 (7), 1 – 22, 2022.
- Branchet, P.; Arpin-Pont, L.; Piram, A.; Boissery, P.; Wong-Wah-Chung, P.; Doumenq, P. Pharmaceuticals in the marine environment: What are the present challenges in their monitoring. **Science of The Total Environment**. 766, 142644, 2021.
- Brasil, Ministério da Saúde. Resolução n° 899, de 29 de maio de 2003. **Agência Nacional de Vigilância Sanitária – (ANVISA)**. Brasília, DF, 2003.
- Brasil, Ministério da Saúde. Resolução RDC n° 166, de 24 de julho de 2017. Agência Nacional de Vigilância Sanitária – (ANVISA). Brasília, DF, 2017.
- Chowdhury, P.; Sarathy, S. R.; Das, S.; Li, J.; Ray, A. K.; Ray, M. B. Direct UV photolysis of pharmaceutical compounds: Determination of pH-dependent quantum yield and full-scale performance. **Chemical Engineering Journal**. 380, 1224660, 2020.
- Florenza, X.; Solano, A. M. S.; Centellas, F.; Martínez-Huitle, C. A.; Brillas, E.; Garcia-Segura, S. Degradation of the azo dye Acid Red 1 by anodic oxidation and indirect electrochemical processes based on Fenton's reaction chemistry. Relationship between decolorization, mineralization and products. **Electrochimica Acta**. 142, 276-288, 2014.
- Gad, S. C. *Handbook of Pharmaceutical Biotechnology*. **Wiley-Interscience**. 1ª ed. 2007.
- Ganiyu, S. O.; Martínez-Huitle, C. A.; Oturan, M. A. Electrochemical advanced oxidation processes for wastewater treatment: Advances in formation and detection of reactive species and mechanisms. **Current Opinion in Electrochemistry**. 27, 100678, 2021.



Ganzenko, O.; Huguenot, D.; Hullebusch, E. D. Van.; Esposito, G.; Oturan, M. A. Electrochemical advanced oxidation and biological processes for wastewater treatment: a review of the combined approaches. **Environmental Science and Pollution Research**. 21, 8493–8524. 2014.

García-Espinoza, J. D.; Robles, I.; Durán-Moreno, A.; Godínez, L. A. Photo-assisted electrochemical advanced oxidation process for the disinfection of aqueous solutions: A review. **Chemosphere**. 274, 129957, 2021.

García-Orozco, V. M.; Linares-Hernández, I.; Natividad, R.; Balderas-Hernández, P.; Alanis-Ramírez, C.; Barrera-Díaz, C. E.; Roa-Morales, G. Solar-photovoltaic electrocoagulation of wastewater from a chocolate manufacturing industry: Anodic material effect (aluminium, Copper and zinc) and life cycle assessment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 10(3), 107969, 2022.

Grebel, J. E.; Pignatello, J. J.; Mitch, W. A. Effect of halide ions and carbonates on organic contaminant degradation by hydroxyl radical-based advanced oxidation processes in saline water. **Environmental Science & Technology**. 44, 6288–6828, 2010.

Grubbs, F. E.; Beck, G. Extension of samples sizes and percentage points for significance tests of outlying observations. **Technometrics**. 14(4), 847-854, 1972.

Guo, J.; Liu, S.; Zhou, L.; Cheng, B.; Li, Q. Prioritizing pharmaceuticals based in environmental risks in the aquatic environment in China. **Journal of Environmental Management**. 278, 111479, 2021.

Hong, B.; Yu, S.; Zhou, M.; Li, J.; Ding, J.; Niu, Y. Development of a pH-parallel approach of quantifying six-category pharmaceuticals in surface water using SPE-HPLC-MS/MS. **Watershed Ecology and the Environment**. 3, 1-16, 2021.

Hong, K.; Chang, D.; Bae, H.; Sunwoo, Y.; Kim, J. Electrolytic removal of phosphorus in wastewater with Noble Electrode under the conditions of low current and constant voltage. **International Journal of Electrochemical Science**. 8(6), 8557-8571, 2013.

Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – (INMETRO). DOC-CGCRE-008 Orientação sobre validação de métodos analíticos. 2020.

Kaya, S. I.; Gumus, E.; Cetinkaya, A.; Zor, E.; Ozkan, S. A. Trends in on-site removal, treatment, and sensitive assay of common pharmaceuticals in surface waters. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**. 149, 116556, 2022.

Klatte, S.; Schaefer, H-C.; Hempel, M. Pharmaceuticals in the environment – A short review on options to minimize the exposure of humans, animals, and ecosystems. **Sustainable Chemistry and Pharmacy**. 5, 61-66, 2017.

Li, J.; Li, Y.; Xiong, Z.; Yao, G.; Lai, B. The electrochemical advanced oxidation processes coupling of oxidants for organic pollutants degradation: mini-review. **Chinese Chemical Letters**. 30(12), 2139-2146 2019.

Liu, L.; He D.; Pan, F.; Huang R.; Lin, H.; Zhang, X. Comparative study on treatment of methylene blue dye wastewater by different internal electrolysis systems and COD removal kinetics, thermodynamics and mechanism. **Chemosphere**. 238, 124671, 2020.

Ltaïef, A. H.; D'angelo, A.; Ammar, S.; Gadri, A.; Galia, A.; Scialdone, O. Electrochemical treatment of aqueous solutions of catechol by various electrochemical advanced oxidation processes: Effect of the process and of operating parameters. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, 796, 1–8, 2017.

Mahjoub, O.; Chmengui, W. Pharmaceutical active compounds in marine and coastal environments of arid and semi-arid countries of the Arab region. **Pharmaceuticals in Marine and Coastal Environments**. 1, 91-119, 2021.

Nadeleti, W. C.; Souza, E. G.; Souza, S. N. M. The potential of hydrogen production from high and low-temperature electrolysis methods using solar and nuclear energy sources: The transition to a hydrogen economy in Brazil. **Internacional Journal of Hydrogen Energy**. 47(82), 34727-34738, 2022.

Nidheesh, P. V.; Zhou, M.; Oturan, M. A. An overview on the removal of synthetic dyes from water by electrochemical advanced oxidation processes. **Chemosphere**. 197, 210-227. 2018.

Omotola, E. O.; Oluwole, A. O.; Oladoye, P. O.; Olatunji, O. S. Occurrence, detection and ecotoxicity studies of selected pharmaceuticals in aqueous ecosystems – a systematic appraisal. **Environmental Toxicology and Pharmacology**. 91, 103831, 2022.

Pereira, L. A.; Almeida, D. A. L.; Couto, A. B.; Ferreira, N. G. Titanium dioxide/oxidized carbon fiber electrodes electrochemically produced and their influences on Brilliant Green dye degradation. **Materials Research Bulletin**. 122, 110642, 2020.

Periyasamy, S.; Muthuchamy, M. Electrochemical oxidation of paracetamol in water by graphite anode: Effect of pH, electrolyte concentration and current density. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 6, 7358-7367, 2018.



- Rayaroth, M. P.; Aravindakumar, C. T.; Shah, N. S.; Boczkaj, G. Advanced oxidation processes (AOPs) based wastewater treatment – unexpected nitration side reactions – a serious environmental issue: A review. **Chemical Engineering Journal**. 430, 133002, 2022.
- Rodríguez-Chueca, J.; Giustina, S. V. D.; Rocha, J.; Fernandes, T.; Pablos, C.; Encinas, A.; Barcelo, D.; Rodríguez-Mozaz, S.; Manaia, C. M.; Marugán, J. Assessment of full-scale tertiary wastewater treatment by UV-C based-AOPs: Removal or persistence of antibiotics and antibiotic resistance genes? **Science of The Total Environment**. 652, 1051-1061, 2019.
- Roig, B.; Weiss, K.; Thireau, V. Management of Emerging Public Health Issues and Risks: Multidisciplinary Approaches to the Changing Environment. 1ª Ed. London, UK: Elsevier Ltc, 2019.
- Rosi, E.; Fork, M.; Hoellein, T.; Kelly, J. J.; Richmond, E. Inputs, Occurrence and Effects of Pharmaceuticals and Microplastics in Freshwater Ecosystems. **Encyclopedia of Inland Waters (Second Edition)**. 2, 471-481, 2022.
- Saha, P.; Wang, J.; Zhou, Y.; Carlucci, L.; Jeremiasse, A. W.; Rijnaarts, H. H. M.; Bruning, H. Effect of electrolyte composition on electrochemical oxidation: Active sulfate formation, benzotriazole degradation, and chlorinated by-products distribution. **Environmental Research**. 211, 113057, 2022.
- Salazar, R.; Contreras, N.; Mansillab, H. D.; Yáñez, J.; Salazar, R. Electrochemical degradation of industrial textile dye disperse yellow 3: Role of electrocatalytic material and experimental conditions on the catalytic production of oxidants and oxidation pathway. **Chemosphere**, 198, 21–29, 2018.
- Santos, A. J.; Kronka, M. S.; Fortunato, G. V.; Lanza, M. R. V. Recent advances in electrochemical water technologies for the treatment of antibiotics: A short review. **Current Opinion in Electrochemistry**. 26, 100674, 2021.
- Servien, R.; Leenknecht, C.; Bonnot, K.; Rossard, V.; Latrille, E.; Mamy, L.; Benoit, P.; Hélias, A.; Patureau, D. Improved impact assessment of micropollutants release from WWTPs. Case Studies in **Chemical and Environmental Engineering**. 5, 100172, 2022.
- Sirés, I.; Brillas, E. Upgrading and expanding the electro-Fenton an related processes. **Current Opinion in Electrochemistry**. 27, 100686, 2021.
- Sivodia, C.; Sinha, A. Assessment of graphite electrode on the removal of anticancer drug cytarabine via indirect electrochemical oxidation process: Kinetics & pathway study. **Chemosphere**. v. 243, 125456, 2020.
- Titchou, F. E.; Zazou, H.; Afanga, H.; El Gaayda, J.; Akbour, R. A.; Nidheesdh, P. V.; Hamdani, M. An overview on the elimination of organic contaminants from aqueous systems using electrochemical advanced oxidation processes. **Journal of Water Process Engineering**. 41, 102040, 2021.
- Tkaczyk; A.; Bownik, A.; Dudka, J.; Kowal, K.; Slaska, B. *Daphnia magna* model in the toxicity assessment of pharmaceuticals: A review. **Science of The Total Environment**. 763, 143038, 2021.
- Vaudin, P.; Augé, C.; Just, N.; Mhaouty-Kodja, S.; Mortaud, S.; Pillon, D. When pharmaceutical drugs become environmental pollutants: Potential neural effects and underlying mechanisms. **Environmental Research**. 205, 112495, 2022.
- Veseli, M.; Rozman, M.; Vilenica, M.; Petrovic, M.; Previsic, A. Bioaccumulation and bioamplification of pharmaceuticals and endocrine disruptors in aquatic insects. **Science of The Total Environment**. 838, 156208, 2022.
- Wang, L.; Lu, J.; Li, L.; Wang, Y.; Huang, Q. Effects of chloride on electrochemical degradation of perfluorooctanesulfonate by Magnéli phase Ti₄O₇ and boron doped diamond anodes. **Water Research**. 170, 115254, 2020.
- Wennmalm, A. Pharmaceuticals: Environmental Effects. Encyclopedia of Environmental Health (Second Edition) – **Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences**. 142-150, 2019.
- Xiang, Y.; Wu, H.; Li, L.; Ren, M.; Qie, H.; Lin, A. A review of distribution and risk of pharmaceuticals and personal care products in the aquatic environment in China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 213, 112044, 2021.
- Yuan, Q.; Qu, S.; Li, R.; Huo, Z-Y.; Gao, Y.; Luo, Y. Degradation of antibiotics by electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs): Performance, mechanisms, and perspectives. **Science of the Total Environment**. 856, 159092, 2023.
- Zhang, J.; Zhou, Y.; Yao, B.; Yang, J.; Zhi, D. Current progress in electrochemical anodic-oxidation of pharmaceuticals: Mechanisms, influencing factors and new technique. **Journal of Hazardous Materials**. 418, 126313, 2021.