APLICAÇÃO DE PROCESSOS OXIDATIVOS AVANÇADOS COMBINADOS UTILIZANDO CATALISADOR BIMETÁLICO (Fe_3O_4/ZnO) NA FOTODEGRADAÇÃO DE LOSARTANA

Fernanda Sobreira Silva [1] ; Maria Eduarda de Aquino Medeiros Amorim da Câmara [2]; Vanessa de Oliveira Marques Cavalcanti [3] ; Gabriel Paiva Ourem [4] ; Glória Maria Vinhas [5] & Daniella Carla Napoleão [6]

RESUMO – A crescente produção e consumo de fármacos tem provocado sua continua detecção nos sistemas aquáticos, impulsionando o desenvolvimento de estratégias eficientes para a degradação desses compostos. Neste contexto, este estudo buscou desenvolver e aplicar catalisador a base de magnetita e óxido de zinco para degradação da losartana. Os ensaios de fotólise e fotoperoxidação alcançou eficiências de 11,88% e 44,98%, respectivamente. O estudo univariado permitiu definir as melhores condições operacionais analisando a influência da concentração do peróxido de hidrogênio, e catalisador, e pH. Os resultados demonstraram, com base na eficiência de degradação uma eficácia de 100% (<LD) em 35 min para losartana. Os dados obtidos foram ajustados aos modelos cinéticos de Behnajady, Modirshahla e Ghanbary (BMG) e Langmuir Hinshelwood (LH). A análise pelo comportamento cinético, dispersão dos resíduos e valores de R^2 e S_R^2 indicaram uma melhor aderência dos dados ao modelo de BMG. O compósito desenvolvido e o emprego da combinação de processos apresentam eficiência na degradação do fármaco avaliado, podendo ser uma alternativa viável no tratamento de efluentes farmacêuticos.

ABSTRACT– The increasing production and consumption of pharmaceuticals has led to their continuous detection in aquatic systems, driving the development of efficient strategies for the degradation of these compounds. In this context, this study sought to develop and apply a magnetite and zinc oxide-based catalyst for the degradation of losartan. Photolysis and photoperoxidation assays achieved efficiencies of 11.88% and 44.98%, respectively. The univariate study allowed the definition of the best operating conditions by analyzing the influence of hydrogen peroxide concentration, catalyst concentration, and pH. The results demonstrated, based on degradation efficiency, an effectiveness of 100% (<LD) in 35 min for losartan. The data obtained were fitted to the Behnajady, Modirshahla and Ghanbary (BMG) and Langmuir Hinshelwood (LH) kinetic models. The analysis of kinetic behavior, residue dispersion, and R^2 and SR^2 values indicated a better fit of the data to the BMG model. The developed composite and the use of combined processes demonstrate

[1]) Doutoranda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – fernanda.sobreira@ufpe.br
[2]) Graduanda em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – eduarda.aquino@ufpe.br
[3]) Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – vanessaoliveiramcavalcanti@gmail.com
[4]) Mestrando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco, Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – gabriel.paiva@ufpe.br
[5]) Doutora em Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Docente do departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – gloria.vinhas@ufpe.br
[6]) Doutora em Engenharia Química pela Universidade Federal de Pernambuco. Docente do departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Avenida Artur de Sá S/N, Cidade Universitária, CEP-50740-521, Recife-PE, Brasil – Tel (81) 21268711 – daniella.napoleao@ufpe.br

efficiency in the degradation of the evaluated drug, and may be a viable alternative in the treatment of pharmaceutical effluents.

Palavras-Chave – POP; Síntese; Tratamento de efluentes farmacêuticos.

1 – INTRODUÇÃO

Estima-se que mais de 2 bilhões de pessoas não tem acesso à água potável e enfrentam escassez de saneamento e a sua falta de segurança ambiental segundo dados da Organização Mundial da Saúde (OMS) e do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) (Weerasooriya *et al.* 2021). Concomitantemente, o lançamento de efluentes nos ambientes aquáticos crescem devido ao desenvolvimento das atividades industriais, agrícolas e urbanas, sendo necessário tratamento adequado para reduzir os impactos ecológicos e mitigar os poluentes (Boro *et al.* 2025). Os poluentes orgânicos persistentes (POP) são uma preocupação ambiental significativa, pois estão inseridos nos sistemas ambientais e sua ocorrência tem sido estudada desde o século passado e vem sendo detectada em efluentes municipais, industriais, hospitalares, aterros sanitários e ambientes aquáticos naturais (Tang *et al.* 2020).

No Brasil, não há legislação específica que trate da descarga e lançamento de POP nas matrizes aquáticas. No entanto, a Resolução nº 430 de 17 de março 2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) que estabelece que os efluentes lançados não devem causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor (Brasil, 2011), sendo necessário buscar formas de mitigar a persistência desses contaminantes no meio ambiente.

Dentre os POP, pode-se destacar os fármacos, que como consequência do crescimento populacional levou a expansão da produção (Kaur; Dulova, 2020) e consumo desses compostos, sendo um dos principais grupos de contaminantes devido à sua contínua introdução nos ambientes aquáticos (Reque *et al.* 2021). Em geral, as drogas comumente encontradas em sistemas aquáticos são as mais administradas, como os antihipertensivos.

A losartana é um antihipertensivo da classe de fármacos do tipo “sartanas”, que atuam bloqueando a ativação dos receptores AT1 da angiotensina II, um dos principais peptídeos responsáveis pela regulação da pressão arterial (Ladhari *et al.* 2021). É um dos medicamentos mais vendidos no Brasil (Reque *et al.* 2021), pois reduz o risco de ataques cardíacos e acidentes vasculares (Ioannidi *et al.* 2022).

Devido ao seu alto consumo e elevado grau de persistência, a losartana (LOS) tem sido detectada com frequência nos diversos sistemas aquáticos (Andrade *et al.* 2020). No Brasil, o fármaco já foi detectado em praias e litorais do sudeste e sul (Pisetta *et al.* 2022; Roveri *et al.* 2021; Cortez *et al.* 2018) e em canais de drenagem urbana (Roveri *et al.* 2020).

A baixa eficiência de remoção deste composto pelos tratamentos convencionais de efluentes pode representar um perigo ao ecossistema aquático e aos seres humanos, sendo necessário a adoção de técnicas capazes de degradar estes compostos persistentes. Dentre os tratamentos, os processos oxidativos avançados (POA) atuam promovendo a degradação pela geração de espécies altamente reativas de oxigênio, como os radicais hidroxilas, com capacidade de atacar e destruir compostos persistentes e tóxicos, através de meios ópticos e químicos (Han *et al.* 2022). Para aproveitar as vantagens dos POA, a combinação de dois ou mais tipos permitem explorar as forças dos processos em atingir as metas necessárias em um menor tempo de reação (Tijani *et al.* 2014), bem como, visar a decomposição completa dos POP presentes no efluente promovendo uma melhoria no tratamento de águas residuais (Tichou *et al.* 2021).

Diante do exposto, este trabalho tem por objetivo produzir catalisador bimetálico à base de magnetita (Fe_3O_4) e óxido de zinco (ZnO) para aplicação da fotodegradação do fármaco losartana empregando processos oxidativos avançados combinados (POAC).

2 – METODOLOGIA

2.1 Síntese do catalisador Fe_3O_4/ZnO

O catalisador foi preparado com base nas metodologias descritas por Unal *et al.* (2019) e Nkurikiyimfura *et al.* (2020). Para isso, foram preparadas soluções de solução de cloreto hexahidratado férrico ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$, Dinâmica) e sulfato ferroso heptahidratado ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$, Dinâmica) dissolvidos em 100 mL de ácido clorídrico (HCl, Merck) e misturados em proporção molar (1:2, V/V). Em seguida, adicionou-se óxido de zinco comercial (ZnO, 99% PA, Dinâmica) em uma proporção (1:1, m/m) e levou-se essa mistura ao banho ultrassônico a frequência de 30 Hz durante 20 min.

Por fim, essa mistura foi adicionada lentamente a uma solução de hidróxido de amônio (NH_4OH, Merck, 30%, 0,7 $mol \cdot L^{-1}$, pH 11) que foi preparada e mantida em aquecimento (60 ºC) com auxílio do agitador magnético (Tecnal), permanecendo em aquecimento e agitação no decurso de 1h. O material co-precipitado foi filtrado utilizando papel de filtro faixa azul (Moderna) e seco em estufa (Quimis) por 4 h a 70ºC.

2.2 Preparo e quantificação da solução do fármaco

A solução aquosa da losartana (Lote: 20078LB4IRB) na concentração de 10 $mg \cdot L^{-1}$ foi preparada a partir de uma solução estoque de concentração 1000 $mg \cdot L^{-1}$ diluída em água destilada. Utilizou-se a cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE, Shimadzu SS-550) com detector ultravioleta-visível e coluna de octadecilsilano (ODS) ULTRA C18, operando em modo reverso (10

µm; 15 cm x 3,9 cm) para monitoramento da degradação da losartana, bem como avaliação da cinética reacional. Os parâmetros operacionais foram: fase móvel composta por acetonitrila (C_2H_3N) e água destilada acidificada com 0,1% de ácido fosfórico (H_3PO_4) em uma razão volumétrica de 55:45, volume de injeção de 20 µL, temperatura do forno de 40ºC, tempo de corrida de 6 min e fluxo de 0,8 $mL \cdot min^{-1}$ e comprimento de onda de 232 nm. Para quantificação dos fármacos antes e após o tratamento via POAC, antes da injeção as amostras foram filtradas usando filtros de PTFE (0,45 µm, Chromafil® Xtra), com a finalidade de reter possíveis impurezas. A metodologia utilizada foi validada conforme descrito pela Resolução da diretoria do colegiado (RDC) nº166 de 2017 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) (Brasil, 2017) pelos parâmetros de limites de quantificação (LQ) e detecção (LD), linearidade, precisão e exatidão.

2.3 Degradação da losartana empregando POAC e monitoramento cinético reacional

Os ensaios de fotodegradação foram realizados utilizando reator de bancada equipado com três lâmpadas UV-C (Osram, 30W cada). Para cada ensaio foram adicionados 50 mL de solução aquosa em béqueres com capacidade de 100 mL. Inicialmente realizou-se ensaios de fotólise e fotoperoxidação para verificar o contributo da radiação e do agente oxidante. Os ensaios foram realizados em triplicata, com tempo de exposição de 60 min. Em seguida, de modo a obter o melhor desempenho reacional realizou-se estudo univariado avaliando o efeito dos parâmetros do agente oxidante (peróxido de hidrogênio, H_2O_2), concentração do catalisador (Fe_3O_4/ZnO) e pH. Para alterar o pH foram utilizados ácido sulfúrico (H_2SO_4, 5 $mol \cdot L^{-1}$) e hidróxido de sódio (NaOH, 1 $mol \cdot L^{-1}$).O tempo de exposição para o estudo foi de 120 min, após findado cada ensaios, as amostras eram analisadas utilizando CLAE.

A partir dos melhores resultados foi realizado o acompanhamento cinético. Para isso foram retiradas alíquotas de 2 mL, em intervalos de tempo regulares (0, 2, 5, 7, 10, 15, 20, 25, 30, 35 min) e analisada via CLAE. Os dados experimentais foram ajustados a modelos cinéticos de pseudo-primeira ordem através dos modelos propostos por Behnajady, Modirshahla e Ghanbary (2007) e por Langmuir-Hinshelwood (Kumar *et al.* 2008). Os ajustes foram feitos utilizando o *software Origin* (versão 9.0), onde foram avaliados resultados dos parâmetros dos modelos, comportamento da curva de degradação, dispersão dos resíduos.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Quantificação da solução do fármaco

A quantificação da solução aquosa da losartana foi realizada via CLAE, para isso inicialmente validou-se a metologia conforme diretriz brasileira para validação de método analito estabelecidos

pela ANVISA. Foram realizados ensaios para determinação dos parâmetros de linearidade, precisão, limite de detecção (LD), limite de quantificação (LQ) e exatidão, que conduziram aos resultados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 –Resultados da validação do método analítico para Losartana via CLAE no comprimento de onda de 232 nm.

Parâmetro	**Resultado**
Limite de detecção (LD)	0,09 mg·L^{-1}
Limite de quantificação (LQ)	0,27 mg·L^{-1}
Linearidade – coeficiente de correlação (r)	> 0,9987
Linearidade – *Outliers* (Teste de Grubbs)	G<1,77
Precisão - CV (mín-máx)	2,31% - 8,80%
Exatidão – Faixa de recuperação	89% - 119%

Na Tabela 1 observa-se que a linearidade analisada através do coeficiente de correlação (r), atendem ao limite mínimo estabelecido pela ANVISA (r > 0,99), confirmando a linearidade do método nas faixas lineares avaliada. Sendo ainda confirmada através da avaliação de *outliers*, por meio do teste de Grubbs, considerando oito replicatas e intervalo de confiança de 95%. Os valores calculados de G> e G< foram inferiores ao valor crítico de 2,13, indicando ausência de dados aberrantes. A precisão foi determinada a partir do coeficiente de variação (CV), obtido em estudos de reprodutibilidade. Em alguns pontos notou-se que os valores de CV ultrapassaram o valor de 5%, limite estabelecido pela ANVISA, no entanto em diretrizes internacionais como a FDA (2018) são permitidas variações de até 15% em níveis normais de concentração.

3.2 Degradação da losartana empregando POAC e monitoramento cinético reacional

Primariamente, realizou-se os ensaios iniciais de fotólise e fotoperoxidação. Os parâmetros operacionais foram pH natural da solução (≈ 5) e tempo de reação (60 min). Observou-se eficiências de degradação de 11,88% para fotólise e 44,98% para fotoperoxidação. Visando uma maior eficácia de degradação, bem como diminuição do tempo reacional, deu-se prosseguimento aos ensaios utilizando o catalisador produzido (Fe_3O_4/ZnO). O estudo univariado inicialmente fixou-se os valores da concentração do Fe_3O_4/ZnO (0,5 g.L^{-1}), pH (≈ 5) e tempo de exposição de 30 min, variando apenas a concentração do H_2O_2 em 0, 20, 30 e 40 mg.L^{-1}. Em seguida, fixada a melhor concentração de H_2O_2, variou-se a concentração do Fe_3O_4/ZnO (0,4 g.L^{-1}, 0,5 g.L^{-1} e 0,6 g.L^{-1}), com a finalidade de visualizar sua influência na degradação da LOS. Por fim, fixada a concentração do H_2O_2 e Fe_3O_4/ZnO, variou-se o pH (5, 7 e 9). Os resultados obtidos para as três etapas estão apresentadas na Figura 1.

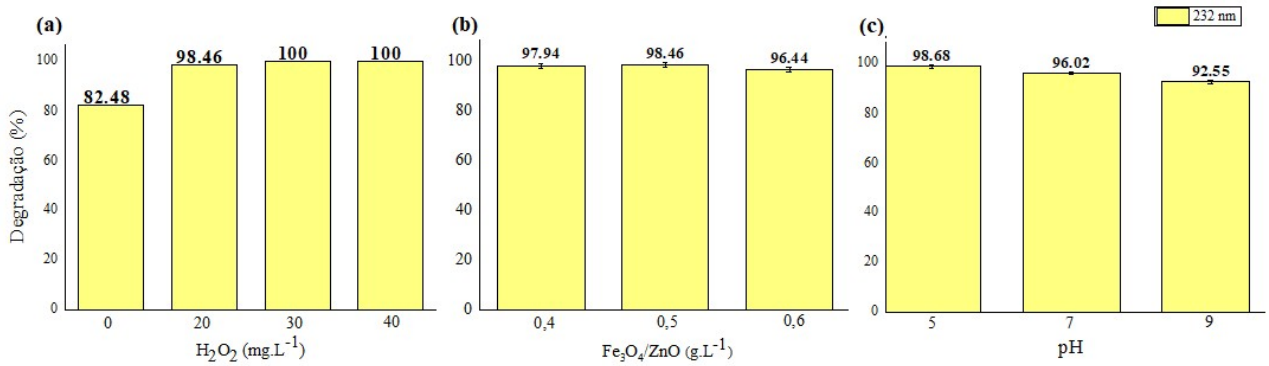


Figura 1 – Estudo univariado da concentração do (a) H_2O_2; (b) Fe_3O_4/ZnO; (c) pH.

Na Figura 1 (a) observa-se que sem a adição do H_2O_2 foi possível alcançar valores percentuais superiores a 80%, demonstrando que o processo de fotocatálise é atuante, portanto, havendo uma geração *in situ* do radicais hidroxilas. Porém, ao adicionar nota-se um aumento de 16%, com eficiência de 98,46% para a concentração de 20 $mg.L^{-1}$, atingindo 100% a partir de 30 $mg.L^{-1}$. Considerando esse comportamento e o critério econômico e além de percentuais mais elevados serem alcançados por melhorias no sistema, foi selecionada a concentração de 20 $mg.L^{-1}$.

Observa-se na Figura 1 (b) que as concentrações 0,4 e 0,6 $g.L^{-1}$ não conduziram a variações significativas nos percentuais de degradação. Além disso, fazer uso da menor concentração foi possível obter valores próximos a 98%. De forma análoga, a seleção da concentração do catalisador, além de atingir uma alta eficiência de degradação, também se considera o menor consumo do reagente visando a economia de custos (Mansouri *et al.* 2021).

Por fim, analisando a Figura 1 (c), não observou-se mudanças significativas no percentual de degradação na variação de pH. Esse comportamento sugere que a losartana apresenta boa estabilidade frente às variações de pH. Diante dos resultados, optou-se pelo pH natural da solução (≈ 5), valor esse próximo a neutralidade, que atende a legislação brasileira, que especifica em seu Art. 16 que efluentes de qualquer fonte poluidora poderão ser lançados em pH 5 (CONAMA, 2011). Bem como, ao utilizar a solução em pH natural, exclui-se o uso de reagentes, diminuindo os custos de implementação e gerenciamento.

Sob a perspectiva de aplicação em escala real, as condições operacionais selecionadas também apresentam potencial de viabilidade técnica e econômica. A utilização da menor concentração de H_2O_2 (20 $mg.L^{-1}$) da menor concentração de catalisador (0,4 $g.L^{-1}$) e do pH natural da solução contribuem para redução do consumo de reagentes, bem como minimiza etapas do tratamento. Embora o emprego de radiação UV-C represente um custo associado ao consumo energético das lâmpadas, o elevado desempenho do processo (com degradação da losartana em apenas 35 min), tende a reduzir o tempo de operação e, consequentemente, a demanda energética do sistema,

indicando potencial para futuras aplicações em escala ampliada. Finalizando esta etapa, seguiu-se para o acompanhamento cinético de degradação deste contaminante com base nas melhores condições operacionais selecionadas. Os dados obtidos foram ajustados aos modelos cinéticos de BMG e LH, estando os resultados observados apresentados na Figura 2.

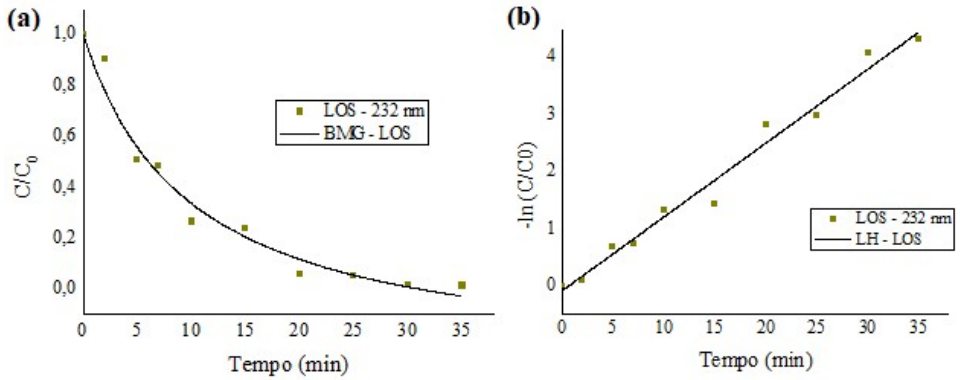


Figura 2 – Cinética de degradação do fármaco losartana utilizando Fe_3O_4/ZnO com dados ajustados ao modelo proposto por (a) Behnajady, Modirshahla e Ghanbary (BMG) e (b) Langmuir-Hinshelwood (LH).

Através da Figura 2, observa-se que a degradação se deu em dois estágios: o primeiro apresentando uma velocidade rápida nos primeiros 10 minutos, alcançando percentuais de 73%, seguido por uma desaceleração entre 10 e 20 min, até sua estabilização, finalizando o tempo reacional com percentual de degradação abaixo do limite de detecção do método. Pela análise das Figuras 2 (a) e (b), que a performance cinética foi bem ajustada aos dois modelos. Para uma melhor visualização, os parâmetros dos modelos cinéticos estão expostos na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros dos modelos cinéticos propostos por Behnajady, Modirshahla e Ghanbary (BMG) e Langmuir-Hinshelwood (LH) para o acompanhamento cinético da degradação do fármaco losartana.

Modelos cinéticos	**Parâmetro**	
BMG	$1/m$ (min^{-1})	7,45 ± 1,03
	$1/b$ (adimensional)	0,76 ± 0,06
	S_R^2	0,0037
	R^2	0,971
LH	k_{app} (min^{-1})	0,6501
	S_R^2	0,453
	R^2	0,978

Na Tabela 2 é possível notar para os dois modelos cinéticos, os valores de R^2 obtidos foram superiores a 0,90. Esse coeficiente indica o grau de concordância da reação com o modelo (Bahrudin, 2024). O modelo de LH apresentou valores superiores, no entanto, o modelo de BMG apresentou valores de variância inferiores. Isso indica que, apesar do bom R^2, o comportamento cinético e a

dispersão dos resíduos apresentam melhor aderência ao modelo de BMG. Na Figura 3 a seguir, apresenta-se o cromatograma obtido permitindo uma melhor visualização da redução da concentração de losartana ao longo do tempo de reação.

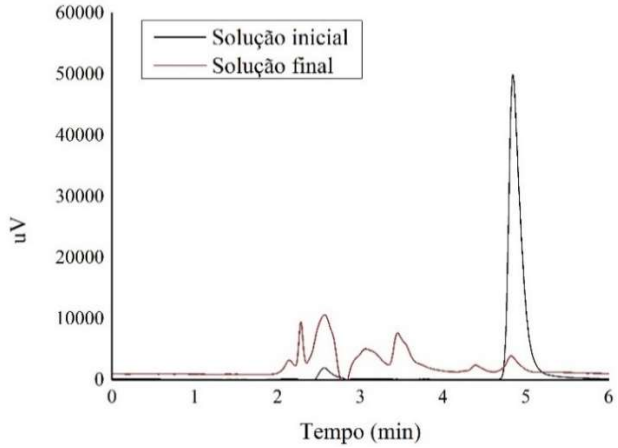


Figura 3 – Cromatograma representativo da solução de losartana antes e após o tratamento

A Figura 3 apresenta o cromatograma obtido por meio do monitoramento via CLAE. Nota-se uma redução significativa da intensidade do pico, além disso, observa-se múltiplos picos em tempos de retenção inferiores a 4 min, indicando a possível formação de subprodutos de transformação. Médice et al. (2024) investigaram a degradação da losartana em foto-Fenton homogêneo, utilizando o peroximonossulfato ativado como agente oxidante. Após 30 min de tratamento foi atingindo percentuais de 64% e utilizando técnicas analíticas foram identificados nove subprodutos distintos. Salazar et al. (2016) degradaram a losartana através da eletro-oxidação com eletrodo de diamante dopado com boro. Os autores verificaram a formação de 4 subprodutos de transformação após o tratamento, além da detecção durante o tratamento de ácido oxâmico e ácido oxálico, bem como, no final do tratamento de ácido succínico, formado após a clivagem oxidativa dos anéis benzênicos.

4 – CONCLUSÃO

Diante do exposto, nota-se o bom desempenho do catalisador empregado para degradação do fármaco losartana. Os testes de degradação foram validados analiticamente, permitindo uma confiabilidade dos resultados observados. O estudo univariado avaliou a influência dos parâmetros como [H_2O_2], [catalisador] e pH, obtendo as melhores condições operacionais – 0,4 $g.L^{-1}$ do catalisador, 20 $mg.L^{-1}$ de H_2O_2 em pH natural da solução ≈5. Alcançou-se resultados de 100% de degradação. O estudo cinético indica que os dados se ajustaram preferencialmente ao modelo cinético de BMG, caracterizando uma cinética de pseudo-primeira ordem. Além da elevada eficiência de degradação, as condições operacionais adotadas demonstram potencial para reduzir custos

operacionais, reforçando a viabilidade técnica do processo e incentivando estudos futuros voltados à avaliação econômica em escala piloto e industrial.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, FACEPE (processo APQ-0947-3.06/22), e CNPq (processo 303911/2025-5) pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

AHMED, M.; ZHOU, J.L.; NGO, H.H.; GUO, W.; THOMAIDIS, N.S; XU, J. (2017) "*Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: a critical review*". Journal of hazardous materials, 323, pp. 274-298.

ANDRADE, J.R.; VIEIRA, M.G.A.; SILVA, M.G.C.; WANGM S. (2020) "*Oxidative degradation of pharmaceutical losartan potassium with N-doped hierarchical porous carbon and peroxymonosulfate*". Chemical Engineering Journal, 382, pp. 122971.

BAHRUDIN, N.N. (2022) "*Evaluation of degradation kinetic and photostability of immobilized TiO_2/activated carbon bilayer photocatalyst for phenol removal*". Applied Surface Science Advances, 7, pp. 100208.

BEHNAJADY, M.A.; MODIRSHAHLA, N.; GHANBARY, F. (2007) "*A kinetic model for the decolorization of CI Acid Yellow 23 by Fenton process*". Journal of hazardous materials, 148 (1-2), pp. 98-102.

BORO, D.; CHIRANIA, M.; VERMA, A.K.; CHETTRI, D.; VERMA, A.K. (2025) "*Comprehensive approaches to managing emerging contaminants in wastewater: identification, sources, monitoring and remediation*". Environ Monit Assess 197, pp. 456.

BRASIL. Resolução RDC nº 166, de 24 de julho de 2017. *Dispõe sobre a validação de métodos analíticos e dá outras providências*. Órgão emissor: ANVISA – Agência nacional de Vigilância Sanitária.

CONAMA, Resolução n.430 de 2011. *Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes*, Brasil, 2011.

CORTEZ, F.S.; SOUZA, L.S.; GUIMARÃES, L.L.; ALMEIDA, J.E.; PUSCEDDU, F.H.; MARANHO, L.A.; MOTA, L.G.; NOBRE, C.R.; MORENO, B.B.; ABESSA, D.M.S.; CESAR, A.; SANTOS, A.R.; PEREIRA, C.D.S. (2018) "*Ecotoxicological effects of losartan on the brown mussel Perna perna and its occurrence in seawater from Santos Bay (Brazil)"*. Science of the Total Environment, 637, pp. 1363-1371.

HAN, M.; ZHU, W.; HOSSAIN, M.S.A.; YOU, J.; KIM, J. (2022) "*Recent progress of functional metal–organic framework materials for water treatment using sulfate radicals*". Environmental Research, 211, pp. 112956.

IOANNIDI, A.; ARVANITI, O.S.; NIKA, M.C.; AALIZADEH, R.; THOMAIDIS, N.S.; MANTZAVINOS, D.; FRONTISTIS, Z. (2022) "*Removal of drug losartan in environmental aquatic matrices by heat-activated persulfate: Kinetics, transformation products and synergistic effects*". Chemosphere, 287, pp. 131952.

KAUR, B.; DULOVA, N. (2020) "*UV-assisted chemical oxidation of antihypertensive losartan in water*". Journal of environmental management, 261, pp. 110170.

KUMAR, K.V.; PORKODI, K.; ROCHA, F. (2008) "*Langmuir–Hinshelwood kinetics–a theoretical study*". Catalysis Communications, 9 (1), pp. 82-84.

LADHARI, A.; MURA, G.L.; MARINO, C.D.; FABIO, G.D.; ZARRELLI, A. (2021) "*Sartans: What they are for, how they degrade, where they are found and how they transform*". Sustainable Chemistry and Pharmacy, 20, pp. 100409.

MANSOURI, M.; SADEGHIAN, S.; MANSOURI, G.; SETARESHENAS, N. (2021) "*Enhanced photocatalytic performance of UiO-66-NH_2/TiO_2 composite for dye degradation*". Environmental Science and Pollution Research, 28 (20), pp. 25552-5565.

MEDICI, A.; LUONGO, G.; PEDATELLA, S.; PREVITERA, L.; FABIO, G.D.; ZARRELLI, A. (2024) "*Tackling Losartan Contamination: The Promise of Peroxymonosulfate/Fe (II) Advanced Oxidation Processes*". Molecules, 29 (10), pp. 2237.

NKURIKIYIMFURA, I.; WAN, Y.; SAFARI, B.; NSHINGABIGWI, E. (2020) "*Temperature-dependent magnetic properties of magnetite nanoparticles synthesized via coprecipitation method*". Journal of Alloys and compounds, 846, pp. 156344.

REQUE, R.; CARNEIRO, R.D.; YAMAMOTO, F.Y.; RAMSDORF, W.A.; MARTINS, L.R.; GUILOSKI, I.C.; FREITAS, A.M. (2021) "*Ecotoxicity of losartan potassium in aquatic organisms of different trophic levels*". Environmental Toxicology and Pharmacology, 87, pp. 103727.

ROVERI, V.; GUIMARÃES, L.L.; TONA, W.; CORREIA, A.T. (2020) "*Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in a beach area of Guarujá, São Paulo State, Brazil, under the influence of urban surface runoff*". Environmental Science and Pollution Research, 27, pp. 45063-45075, 2020.

ROVERI, V.; GUIMARÃES, L.L.; TONA, W.; CORREIA, A.T. (2021) "*Occurrence and ecological risk assessment of pharmaceuticals and cocaine in the urban drainage channels of Santos beaches (São Paulo, Brazil): a neglected, but sensitive issue*". Environmental Science and Pollution Research, 28, pp. 65595-65609.

SALAZAR, C.; CONTRERAS, N.; MANSILLA, H.D.; YÁNEZ, J.; SALAZAR, R. (2016) "*Electrochemical degradation of the antihypertensive losartan in aqueous medium by electro-oxidation with boron-doped diamond electrode*". Journal of Hazardous Materials, 319, pp. 84-92.

TANG, Y.; ZHONG, Y.; LI, H.; HUANG, Y.; GUO, X.; YANG, F.; WU, Y. (2020) "*Contaminants of emerging concern in aquatic environment: Occurrence, monitoring, fate, and risk assessment*". Water Environment Research, 92 (10), pp. 1811-1817.

TIJANI, J.O.; FATOBA, O.O.; MADZIVIRE, G.; PETRIK, L.F. (2014) "*A review of combined advanced oxidation technologies for the removal of organic pollutants from water*". Water, Air, & Soil Pollution, 225, pp. 1-30.

TITCHOU, F.E.; ZAZOU, H.; AFANGA, H.; GAAYDA, J.E.; AKBOUR, R.A.; NIDHEESH, P.V.; HAMDANI, M. (2021) "*Removal of organic pollutants from wastewater by advanced oxidation processes and its combination with membrane processes*". Chemical Engineering and Processing-Process Intensification, 169, pp. 108631.

UNAL, B.O.; BILICI, Z; UGUR, N.; ISIK, Z.; HARPUTLU, E.; DIZGE, N.; OCAKOGLU, K. (2019). "*Adsorption and Fenton oxidation of azo dyes by magnetite nanoparticles deposited on a glass substrate*". Journal of Water Process Engineering, 32, pp. 100897.

WEERASOORIYA, R.R; LIYANAGE, L.P.K.; RATHNAPPRIYA, R.H.K.; PEREIRA, T.A.N.T.; GUNARATHNA, M.H.J.P.; JAYASINGHE, G.Y. (2021) "*Industrial water conservation by water*

footprint and sustainable development goals: a review". Environment, Development and Sustainability, 23 (9), pp. 12661-12709.