

INFLUÊNCIA DO PH DA SOLUÇÃO NA MEMBRANA DE HIDROGEL À BASE DE QUITOSANA PARA REMOÇÃO DA CAFEÍNA EM PROCESSO COMBINADO

Verônica Steffany Basso Fabrin, Juliana Prando, Ingrid Reinehr, Luiz Jardel Visioli,
Alexandre Tadeu Paulino, Heveline Enzweiler

INTRODUÇÃO

A presença de contaminantes emergentes em corpos hídricos tem se tornado uma preocupação crescente no cenário ambiental e de saúde pública. Entre esses compostos, a cafeína é frequentemente detectada em efluentes domésticos, industriais e em águas superficiais, sendo considerada um marcador de poluição antrópica. Sua ampla utilização em bebidas, fármacos e produtos alimentícios resulta em descargas contínuas no ambiente, enquanto sua elevada solubilidade em água e baixa taxa de remoção em estações de tratamento convencionais favorecem a persistência no meio. A exposição crônica desse contaminante pode acarretar efeitos adversos em organismos aquáticos e, potencialmente, no ser humano, o que justifica a constante busca por métodos mais eficientes de remoção.

Diante desse contexto, os Processos Oxidativos Avançados (POAs) surgem como alternativas promissoras, pois promovem a geração de radicais hidroxila altamente reativos capazes de degradar moléculas complexas. A fotocatálise heterogênea com dióxido de titânio (TiO_2) tem sido amplamente estudada devido às suas características: baixo custo, estabilidade química, não toxicidade e elevado potencial de oxidação. A aplicação desse processo para a degradação de cafeína em meio aquoso pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento mais eficazes e sustentáveis. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da fotocatálise utilizando TiO_2 disperso na degradação de cafeína em diferentes valores de pH, investigando o desempenho do processo, suas vantagens e limitações.

DESENVOLVIMENTO

Os experimentos foram conduzidos em reator de bancada com sistema de irradiação UV, sob condições controladas de temperatura e agitação. A solução aquosa de cafeína foi preparada em concentração inicial de 3 mg L^{-1} . O catalisador empregado foi dióxido de titânio (TiO_2), adicionado diretamente ao meio reacional na forma dispersa, em concentração de 0,01 g.

A fim de avaliar a influência do pH, os ensaios foram realizados em três condições distintas: pH 6, 7 e 8. Durante os ensaios, alíquotas foram coletadas em intervalos regulares de 15 minutos, até completar 180 minutos de irradiação. Posteriormente, as amostras foram filtradas e analisadas por espectrofotometria UV-Vis (espectrofotômetro BEL UV-M51) no comprimento de onda de 274 nm, para quantificação da cafeína.

Esse procedimento experimental foi adotado para assegurar a reprodutibilidade dos dados e permitir a comparação direta do desempenho do processo em diferentes condições de pH. Além disso, a utilização do catalisador na forma dispersa visou maximizar a área de

contato entre o TiO_2 e as moléculas de cafeína, favorecendo a formação de radicais hidroxila e a consequente degradação do composto.

RESULTADOS

Os resultados obtidos demonstraram que a fotocatálise com TiO_2 disperso é altamente eficiente para a degradação da cafeína, embora apresente variação significativa em função do pH do meio. Em pH 6, condição próxima à neutralidade, o processo alcançou até 93,56% de remoção da cafeína após 180 minutos de reação. Em pH 7, a degradação foi de 36,42%, enquanto em pH 8 a eficiência foi menor, com aproximadamente 31,41% de remoção.

Essa diferença de desempenho pode ser explicada pela influência do pH tanto na carga superficial do catalisador quanto na ionização da molécula de cafeína. Em condições levemente ácidas a neutras (pH 6), há maior favorecimento da interação entre o TiO_2 e o contaminante, maximizando a formação de espécies oxidantes. Em meio mais alcalino (pH 8), por outro lado, observa-se menor adsorção da cafeína sobre a superfície catalítica, o que reduz a taxa de degradação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

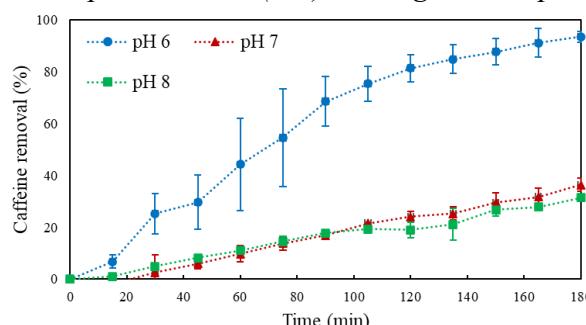
A aplicação da fotocatálise heterogênea com TiO_2 disperso demonstrou elevado potencial na degradação de cafeína em solução aquosa, confirmando sua eficácia como processo oxidativo avançado. A condição de pH 6 apresentou os melhores resultados, com remoção superior a 90% do contaminante em três horas de tratamento, evidenciando a viabilidade do processo para cenários reais de tratamento de água.

Portanto, o presente estudo contribui para a compreensão do potencial da fotocatálise com TiO_2 disperso como ferramenta para a remoção de contaminantes emergentes, reforçando sua importância no desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e eficazes para o tratamento de águas residuais.

Palavras-chave: fotocatálise; cafeína; TiO_2 ; processos oxidativos avançados; tratamento de água.

ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Perfil de comportamento do processo de fotocatálise com catalisador disperso para a faixa de pH estudada (6-8) ao longo do tempo de reação (180 min).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

OLIVEIRA CPM de, Sperle P, Arcanjo GS, et al (2024) Successful application of photocatalytic recycled TiO₂-GO membranes for the removal of trace organic compounds from tertiary effluent. *Chemosphere* 362:142730. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142730>.

DHIBI H, Guiza M, Bouzaza A, et al (2023) Photocatalytic degradation of paracetamol mediating luminous textile: Intensification of the chemical oxidation. *Journal of Water Process Engineering* 53:103648. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2023.103648>.

GIRI RR, Ozaki H, Ota S, et al (2010) Influence of inorganic solids on photocatalytic oxidation of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid with UV and TiO₂ fiber in aqueous solution. *Desalination* 255:9–14. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2010.01.025>.

KUMEDA T, Sakaushi K (2023) Joint Kinetic/In Situ Spectrometric Investigation of the Multielectron/Multiproton-Transfer-Based Adsorption Electrode Process of Phosphate Anions on the Ir(111) Surface across a Comprehensive pH Range. *The Journal of Physical Chemistry C* 127:10341–10354. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcc.3c01287>.

MERGENBAYEVA S, Zakharova A, Tynysbek A, et al (2022) 6 Polymer immobilized TiO₂ microparticles for photocatalytic degradation of caffeine. *Mater Today Proc* 71:119–123. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.10.237>.

MUANGMORA R, Kemacheevakul P, Punyapalakul P, Chuangchote S (2020) Enhanced Photocatalytic Degradation of Caffeine Using Titanium Dioxide Photocatalyst Immobilized on Circular Glass Sheets under Ultraviolet C Irradiation. *Catalysts* 10:964. <https://doi.org/10.3390/catal10090964>.

NAWAZ T, Sengupta S (2019) Contaminants of Emerging Concern: Occurrence, Fate, and Remediation. In: *Advances in Water Purification Techniques*. Elsevier, pp 67–114
Paz MJ, Vieira T, Enzweiler H, Paulino AT (2022) Chitosan/wood sawdust/magnetite composite membranes for the photodegradation of agrochemicals in water. *J Environ Chem Eng* 10:106967. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106967>.

PRIETO-RODRIGUEZ L, Miralles-Cuevas S, Oller I, et al (2012) Treatment of emerging contaminants in wastewater treatment plants (WWTP) effluents by solar photocatalysis using low TiO₂ concentrations. *J Hazard Mater* 211–212:131–137. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.09.008>.

WANG L, Zhang Q, Chen B, et al (2020) Photolysis and photocatalysis of haloacetic acids in water: A review of kinetics, influencing factors, products, pathways, and

mechanisms. J Hazard Mater 391:122143. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122143>.

ZHAO D, Chen C, Wang Y, et al (2008) Surface Modification of TiO₂ by Phosphate: Effect on Photocatalytic Activity and Mechanism Implication. The Journal of Physical Chemistry C 112:5993–6001. <https://doi.org/10.1021/jp712049c>.

ZIYLAN-YAVAS A, Ince NH, Ozon E, et al (2021) Oxidative decomposition and mineralization of caffeine by advanced oxidation processes: The effect of hybridization. Ultrason Sonochem 76:105635. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105635>.

DADOS CADASTRAIS

BOLSISTA: Verônica Steffany Basso Fabrin

MODALIDADE DE BOLSA: Voluntário (IC)

VIGÊNCIA: 03/2025 a 08/2025 – Total: 5 meses

ORIENTADOR(A): Heveline Enzweiler

CENTRO DE ENSINO: CEO

DEPARTAMENTO: Departamento de Engenharia de Alimentos e Engenharia Química

ÁREAS DE CONHECIMENTO: Engenharia/Engenharia Química

TÍTULO DO PROJETO DE PESQUISA: Aplicação de Técnicas de Adsorção e Fotocatálise na Remoção de Compostos Fármacos, Corantes Alimentícios e edulcorantes em Meio Aquoso

Nº PROTOCOLO DO PROJETO DE PESQUISA: NPP3938-2022