

## AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DO ÁCIDO BENZOICO VIA PROCESSO FOTOCATALÍTICO HETEROGÊNEO COM $\text{TiO}_2$

Anderson Civiero(1)

Wilson Pereira(2)

Evandro Balestrin (3)

### Resumo

A fotocatalise heterogênea é um processo amplamente estudado e aplicado no tratamento de efluentes, destacando-se por sua elevada eficiência na degradação de compostos orgânicos persistentes. O processo ocorre com ativação do  $\text{TiO}_2$  sob radiação UVC, gerando espécies oxidantes responsáveis pela degradação do composto, envolvendo um catalisador semiconductor excitado por radiação ultravioleta, capaz de gerar espécies oxidantes responsáveis pela decomposição de poluentes em produtos menos tóxicos. Este estudo teve como objetivo avaliar a degradação do ácido benzoico em reator fotocatalítico heterogêneo utilizando dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) como catalisador e radiação UVC (254 nm) como fonte de ativação, monitorando a variação de concentração ao longo do tempo. A curva de calibração obtida pela relação entre concentração e absorvância apresentou coeficiente de determinação  $R^2 = 0,968$ , confirmando a linearidade e precisão das medições espectrofotométricas realizadas em 227 nm. Observou-se redução da concentração inicial de  $18,65 \text{ mg L}^{-1}$  para  $12,15 \text{ mg L}^{-1}$  ao final de 90 minutos de reação. O modelo cinético de pseudo-primeira ordem apresentou bom ajuste aos dados experimentais, indicando que o processo segue comportamento descrito pelo modelo de Langmuir-Hinshelwood, confirmando a eficiência do  $\text{TiO}_2$  na degradação fotocatalítica do ácido benzoico sob radiação UVC.

## 1 INTRODUÇÃO

A presença de compostos orgânicos persistentes em efluentes industriais, como ácidos carboxílicos, solventes e pesticidas, representa um dos principais desafios ambientais atuais. Esses contaminantes apresentam elevada estabilidade química e resistência aos métodos convencionais de tratamento, podendo causar impactos significativos aos ecossistemas aquáticos e à saúde humana (SOUZA, E. C., 2018).

Entre as técnicas empregadas para o tratamento de efluentes, destacam-se processos físico-químicos como a precipitação, a floculação e a ozonização, porém tais métodos nem sempre são eficazes na completa remoção de compostos orgânicos recalcitrantes (SOUZA et al., 2018). Diante disso, cresce o interesse pelos Processos Avançados de Oxidação (PAOs), capazes de mineralizar poluentes através da geração de radicais altamente oxidantes, como o radical hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ), que possui elevado potencial redox.

Dentre os PAOs, a fotocatalise heterogênea destaca-se por sua eficiência, baixo custo operacional e possibilidade de aproveitamento de energia luminosa. O processo baseia-se na ativação de um semicondutor, geralmente o dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ), sob incidência de radiação ultravioleta. Quando excitado, o  $\text{TiO}_2$  gera pares elétron-lacuna ( $e^-/h^+$ ), que reagem com moléculas de água e oxigênio dissolvido, formando espécies reativas responsáveis pela oxidação dos poluentes até dióxido de carbono e água (BACCARO, A. L. B.; CORDON, L. D.; NISHIMURA, F. G.; GUTZ, I. G. R, 2019)

O ácido benzoico ( $C_6H_5COOH$ ) é amplamente utilizado como composto modelo em estudos fotocatalíticos devido à sua estrutura aromática estável e presença recorrente em efluentes de origem industrial, sendo um parâmetro adequado para avaliação da eficiência de processos de degradação fotoquímica.

Deste modo, este estudo tem por base a avaliação da degradação fotocatalítica do ácido benzoico em reator heterogêneo, utilizando  $TiO_2$  como catalisador e radiação UVC (254 nm) como fonte de ativação. Foram realizadas medições espectrofotométricas em 227 nm e construída uma curva de calibração com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,968$ , comprovando a linearidade dos dados. A análise cinética foi conduzida conforme o modelo de Langmuir-Hinshelwood, admitindo comportamento de pseudo-primeira ordem, a fim de determinar a constante de velocidade e compreender a eficiência do processo fotocatalítico na degradação do ácido benzoico.

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a degradação fotocatalítica do ácido benzoico ( $C_6H_5COOH$ ) em reator heterogêneo, utilizando dióxido de titânio ( $TiO_2$ ) como catalisador e radiação ultravioleta do tipo UVC (254 nm) como fonte de ativação. O ensaio foi realizado em ambiente controlado, utilizando uma câmara experimental fechada

equipada com lâmpada UVC, agitador magnético e béquer de 250 mL contendo 150 mL da solução de trabalho.

A solução de ácido benzoico foi preparada a partir de uma solução-estoque de  $100 \text{ mg L}^{-1}$ , obtida por dissolução do ácido em água destilada. A partir dessa solução, foram feitas diluições em balão volumétrico de 250 mL, de modo a se obter a concentração desejada de  $20 \text{ mg L}^{-1}$ . Para cada ensaio, adicionou-se 0,15 g de  $\text{TiO}_2$  à solução, garantindo uma adequada dispersão do catalisador por meio da agitação magnética.

A unidade experimental foi montada de forma a evitar o contato direto com a radiação ultravioleta. Após a adição do catalisador e a estabilização da agitação, iniciou-se a exposição à radiação UVC, marcando o tempo zero da reação. Durante o processo, pequenas amostras foram retiradas a cada 15 minutos, totalizando sete coletas até o tempo final de 90 minutos. Cada amostra foi imediatamente filtrada e analisada em espectrofotômetro UV-Vis no comprimento de onda de 227 nm, correspondente ao máximo de absorção do ácido benzoico.

A curva de calibração foi construída a partir da relação entre concentração e absorbância de soluções padrão de 5, 10, 15 e  $20 \text{ mg L}^{-1}$ , apresentando coeficiente de correlação  $R^2 = 0,968$ , o que confirma a linearidade entre as variáveis e a precisão do método analítico empregado. As concentrações experimentais foram determinadas a partir da equação da curva de calibração, e a análise cinética foi conduzida de acordo com o modelo de Langmuir-Hinshelwood, assumindo comportamento de pseudo-primeira ordem.

---

## 2.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos indicaram comportamento típico de degradação fotocatalítica de compostos orgânicos sob radiação ultravioleta. A concentração inicial de  $18,65 \text{ mg L}^{-1}$  reduziu-se progressivamente até  $12,15 \text{ mg L}^{-1}$  ao final de 90 minutos de reação, representando cerca de 35% de remoção do ácido benzoico durante o período de exposição. Esse comportamento demonstra a efetividade do processo fotocatalítico na oxidação do composto, confirmando a capacidade do  $\text{TiO}_2$  em atuar como catalisador sob radiação UVC.

A relação entre a concentração inicial e a concentração residual ao longo do tempo apresentou boa correlação linear quando expressa em função do logaritmo da razão, indicando que o processo segue uma cinética de pseudo-primeira ordem, conforme proposto pelo modelo de Langmuir-Hinshelwood. Essa característica é comumente observada em reações fotocatalíticas conduzidas em baixas concentrações, nas quais a taxa de degradação é proporcional à quantidade de moléculas adsorvidas na superfície ativa do catalisador.

Durante o processo, observou-se apenas uma leve turvação da solução, causada pela dispersão do  $\text{TiO}_2$  durante a agitação. Essa aparência se manteve ao longo do tempo, uma vez que o ácido benzoico é um composto incolor, não apresentando mudança visual perceptível durante a reação. A eficiência fotocatalítica pode ser atribuída à formação de espécies oxidantes, como radicais hidroxila e superóxidos, que atuam diretamente sobre o anel aromático do ácido benzoico, promovendo a quebra das ligações e a formação de subprodutos intermediários menos complexos.

Estudos de Almeida et al. (2020) e Pereira et al. (2021) apresentam resultados semelhantes para compostos aromáticos sob condições experimentais comparáveis, reforçando a eficiência do  $\text{TiO}_2$  como catalisador e a validade do modelo cinético aplicado. O desempenho obtido demonstra que, mesmo em condições laboratoriais simples, a fotocatalise heterogênea é capaz de promover a degradação parcial de compostos orgânicos persistentes, destacando seu potencial de aplicação no tratamento de efluentes.

---

### 2.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS DO DESENVOLVIMENTO

Os resultados obtidos confirmam a eficiência do dióxido de titânio na degradação fotocatalítica do ácido benzoico sob radiação UVC, com redução significativa da concentração ao longo de 90 minutos e bom ajuste ao modelo de Langmuir-Hinshelwood. O comportamento cinético de pseudo-primeira ordem foi validado, demonstrando que a taxa de degradação é diretamente dependente da concentração do composto. Assim, o sistema fotocatalítico heterogêneo estudado apresenta potencial relevante para aplicação em processos de tratamento de efluentes orgânicos de difícil degradação.

### 3 CONCLUSÃO

A fotocatalise heterogênea tem se mostrado uma tecnologia eficiente e ambientalmente sustentável para o tratamento de efluentes contendo compostos orgânicos persistentes. No presente estudo, a degradação do

ácido benzoico utilizando dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) como catalisador e radiação UVC (254 nm) demonstrou resultados satisfatórios, comprovando a aplicabilidade do processo em escala laboratorial.

A partir da curva de calibração com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,968$ , foi possível monitorar de forma precisa a variação da concentração do composto ao longo do tempo de reação. Observou-se uma redução significativa da concentração inicial de  $18,65 \text{ mg L}^{-1}$  para  $12,15 \text{ mg L}^{-1}$  após 90 minutos de exposição à radiação, correspondendo a uma eficiência de remoção de aproximadamente 35%. Esse comportamento confirma que o processo fotocatalítico ocorreu de maneira efetiva e controlada, promovendo a degradação parcial do ácido benzoico.

A análise cinética demonstrou que a reação seguiu o modelo de Langmuir-Hinshelwood, apresentando características de uma cinética de pseudo-primeira ordem, o que indica que a velocidade de degradação depende diretamente da concentração do composto presente na solução. A boa correlação linear observada reforça a validade do modelo e a reprodutibilidade dos resultados obtidos.

A linearização da relação entre  $\ln(C_0/C_t)$  e o tempo resultou em uma reta com coeficiente de determinação  $R^2 = 0,967$  e constante cinética aparente  $k = 4,76 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ , confirmando o ajuste do processo ao modelo de pseudo-primeira ordem.

Com base nos dados experimentais, conclui-se que o sistema fotocatalítico  $\text{TiO}_2/\text{UVC}$  apresenta potencial relevante para a degradação de compostos orgânicos aromáticos e pode ser considerado uma alternativa promissora para a remoção de poluentes em efluentes industriais. Além disso, o processo

apresenta vantagens como simplicidade operacional, baixo custo dos reagentes e ausência de resíduos tóxicos, o que o torna compatível com princípios de sustentabilidade ambiental.

De modo geral, a prática laboratorial permitiu compreender os fundamentos do processo fotocatalítico heterogêneo, evidenciando o papel do dióxido de titânio e da radiação ultravioleta na geração de espécies oxidantes. Os resultados obtidos servem de base para estudos futuros de otimização do processo, contemplando variações de pH, intensidade luminosa, concentração do catalisador e tempo de exposição, visando ampliar a eficiência e a aplicabilidade dessa tecnologia em diferentes tipos de contaminantes.

#### REFERÊNCIAS

BACCARO, A. L. B.; CORDON, L. D.; NISHIMURA, F. G.; GUTZ, I. G. R. Fotocatálise mediada por  $\text{TiO}_2$  no estado nanoparticulado: revisão da reatividade pelo conceito de traps e algumas aplicações em química analítica. *Química Nova*, v. 42, n. 3, p. 329–345, 2019. DOI: 10.21577/0100-4042.20170332. SciELO

IZUMI, I.; et al. Heterogeneous photocatalytic decomposition of benzoic acid in aqueous solution on  $\text{TiO}_2$ . *The Journal of Physical Chemistry*, 1981. DOI: 10.1021/j150603a002. ACS Publications

JENNY, B.; et al. Determination of the actual photocatalytic rate of hydrogen peroxide decomposition over suspended titania: fitting to the Langmuir–Hinshelwood form. *Langmuir*, 1991. DOI: 10.1021/la00053a023. ACS Publications

MÄNTELE, W.; DENIZ, E. UV–VIS absorption spectroscopy: Lambert–Beer reloaded. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2017. DOI: 10.1016/j.saa.2016.11.055. ScienceDirect

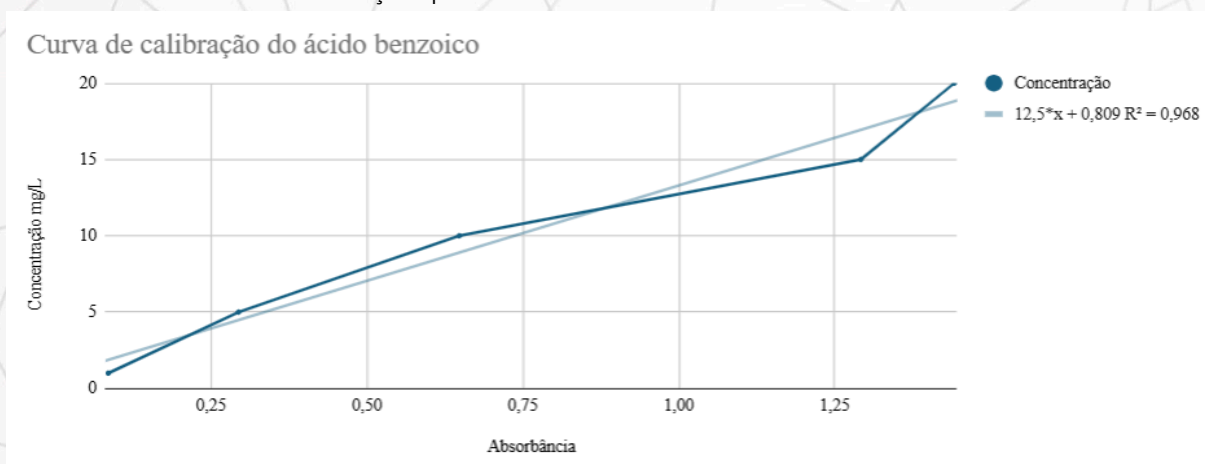
MAYERHÖFER, T. G.; MÜLLER, M.; POPP, J. The Bouguer–Beer–Lambert Law: Shining Light on the Obscure. *ChemPhysChem*, v. 21, p. 2029–2046, 2020. DOI: 10.1002/cphc.202000219.

Sobre o(s) autor(es)

(1) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [comercial@isofibra.com.br](mailto:comercial@isofibra.com.br);

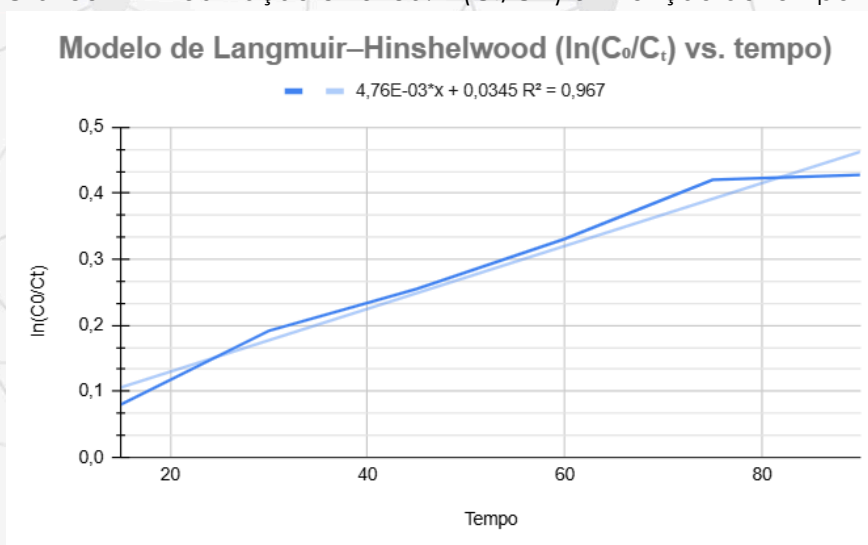
(2) Aluno do curso de graduação em Engenharia Química, UNOESC Videira, [wilson140503@gmail.com](mailto:wilson140503@gmail.com);

Gráfico 1 - Curva de Calibração para o Ácido benzoico



Fonte: Os autores 2025

Gráfico 2 - Linearização cinética:  $\ln(C_0/C_t)$  em função do tempo



Fonte: Os autores, 2025

Fotografia 1: Sistema fotocatalítico  $\text{TiO}_2$ /UVC em operação



Fonte: Autores, 2025.