

Aproveitamento de biomassa residual na modificação do TiO_2 : desempenho fotocatalítico frente a corantes modelo com diferentes características estruturais

Joziel A. Oliveira¹, Edson C. Silva¹, Juan A. Cecilia², Josy A. Osajima^{1*}

¹Laboratório Interdisciplinar de Materiais Avançados – LIMAV, UFPI, 64049-550, Teresina-PI, Brasil.

²Departamento de Química Inorgânica, Cristalografia e Mineralogia, Universidade de Málaga, 29071 Málaga, Espanha.

*josyosajima@ufpi.edu.br

Resumo/Abstract

RESUMO - Foi sintetizado um compósito de TiO_2 modificado com folha de mandioca e avaliado desempenho fotocatalítico frente aos corantes azul de metileno (MB) e alaranjado de metila (MO). O material apresentou elevada eficiência na remoção de MB, atingindo 99,79% de degradação. A proposta representa uma alternativa sustentável para o tratamento de efluentes.

Palavras-chave: Fotocatálise, TiO_2 modificado, Biomassa vegetal, Corantes orgânicos

ABSTRACT - A TiO_2 composite modified with cassava leaf was synthesized and evaluated for its photocatalytic activity against methylene blue (MB) and methyl orange (MO). The material showed high efficiency in MB removal, reaching 99.79% degradation. This approach offers a sustainable alternative for wastewater treatment.

Keywords: Photocatalysis, Modified TiO_2 , Plant biomass, Organic dyes

Introdução

A contaminação de recursos hídricos por corantes sintéticos provenientes de atividades industriais, como a têxtil e a alimentícia, representa um desafio ambiental relevante, dada a estabilidade, toxicidade e persistência desses compostos no meio ambiente. Nesse cenário, tem-se intensificado a busca por tecnologias limpas e eficazes no tratamento de efluentes, com destaque a fotocatálise heterogênea (1).

O dióxido de titânio (TiO_2) é amplamente empregado como fotocatalisador por sua estabilidade química, baixa toxicidade e elevada atividade sob radiação UV. No entanto, esse semicondutor apresenta limitações importantes, como a baixa eficiência na etapa inicial de adsorção dos poluentes, devido à sua superfície pouco ativa para interações físico-químicas com moléculas orgânicas (2).

Uma estratégia promissora para superar essa limitação consiste na modificação do TiO_2 com materiais de origem orgânica capazes de conferir propriedades adsorventes ao sistema. A introdução de biomassa vegetal pode favorecer a interação inicial com os contaminantes e promover um efeito sinérgico entre adsorção e fotodegradação, potencializando o desempenho do fotocatalisador, mesmo sem alterações significativas na energia de *bandgap* do TiO_2 (3).

Entre as biomassas disponíveis, a folha da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) se destaca como um resíduo agrícola abundante e pouco aproveitado, com composição rica em compostos orgânicos e inorgânicos, os quais podem

influenciar positivamente as características superficiais do óxido (4).

Este trabalho propõe a modificação do TiO_2 com folha de mandioca para desenvolver um material híbrido com propriedades fotocatalíticas e adsorventes, avaliando sua atuação na degradação dos corantes azul de metileno e alaranjado de metila.

Experimental

Síntese TiO_2 /folha da mandioca (TiO_2 /FMD).

Os compósitos de TiO_2 modificados com biomassa foram obtidos pelo método sol-gel, utilizando isopropóxido de titânio (TTIP) como precursor. A folha da mandioca foi previamente seca, triturada e incorporada ao sistema reacional em meio alcoólico sob agitação constante. Após a adição dos reagentes e formação do gel, o material foi mantido em repouso e posteriormente submetido à secagem em estufa. A etapa final consistiu na calcinação a 400 °C por 2 horas em forno mufla, com taxa controlada de aquecimento.

Caracterizações.

O material obtido foi caracterizado por difração de raios X (DRX) e espectroscopia de reflectância difusa no UV-Vis (DRS-UV-Vis).

Testes fotocatalíticos

A atividade fotocatalítica foi investigada utilizando os corantes azul de metileno (MB) e alaranjado de metila (MO), ambos em concentração de 6 mg L⁻¹. Os ensaios foram realizados em reator de borossilicato com volume de 200 mL, sob irradiação de uma lâmpada comercial sem

bulbo (160 W), com emissão na região do UV. A concentração de fotocatalisador utilizada foi de $0,5 \text{ g L}^{-1}$, sendo estabelecido equilíbrio de adsorção-dessorção no escuro por 45 minutos para o MB e 30 min para o MO. A temperatura foi mantida constante em $25^\circ\text{C} \pm 0,1^\circ\text{C}$ durante os experimentos. As amostras obtidas foram centrifugadas e posteriormente analisadas por um espectrofotômetro UV-Vis.

Resultados e Discussão

Difratometria de raios-X

Os difratogramas obtidos por DRX confirmaram que o material sintetizado apresenta estrutura cristalina do tipo anatase, fase termodinamicamente estável e amplamente associada à alta atividade fotocatalítica do TiO_2 . A presença dessa fase indica que o processo de modificação com folha de mandioca não comprometeu a cristalinidade do semicondutor, mantendo a estrutura desejada para aplicações fotocatalíticas (4).

Espectroscopia de reflectância difusa no UV-Vis (DRS-UV-Vis)

A análise por espectroscopia de reflectância difusa no UV-Vis (DRS-UV-Vis) foi empregada para estimar a energia de *bandgap* do material, utilizando a função de Kubelka-Munk combinada com o método de Tauc. O valor obtido de 3,21 eV indica que a modificação com folha de mandioca não promoveu alteração significativa na energia de *bandgap* do TiO_2 , mantendo-se dentro dos valores típicos descritos na literatura (2).

Testes fotocatalíticos

Na Figura 1, observa-se o perfil de degradação dos corantes azul de metileno (MB) e alaranjado de metila (MO) ao longo do tempo. Durante o período de equilíbrio no escuro, foi possível identificar uma redução considerável na concentração de MB, evidenciando a capacidade do material em adsorver esse corante antes mesmo do início da irradiação. No caso do MO, a concentração permaneceu praticamente inalterada nessa etapa, indicando menor afinidade com a superfície do fotocatalisador.

Destaca-se a expressiva remoção de MB durante o tempo em escuro, o que demonstra forte interação entre o corante e a superfície modificada, favorecendo um processo sinérgico entre adsorção e fotodegradação. Esse comportamento é especialmente desejável, pois a adsorção prévia potencializa a eficiência do processo fotocatalítico.

Com o início da irradiação, o MB apresentou rápida degradação, atingindo 99,79% de remoção ao final de 120 minutos. Em contraste, o MO apresentou degradação mais lenta e gradual, com eficiência final de 33,79%.

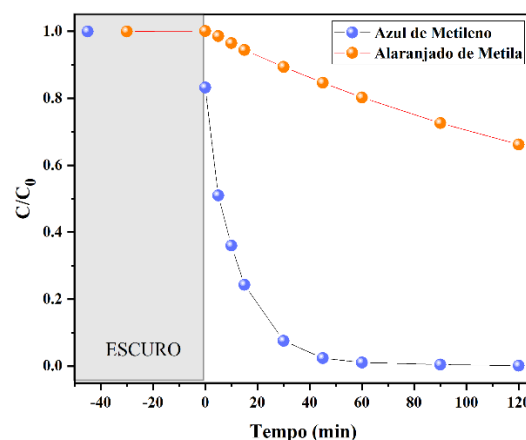


Figura 1. Perfil de degradação dos corantes (MB) e (MO) ao longo do tempo sob irradiação UV.

As diferenças observadas entre os corantes podem ser atribuídas à natureza molecular, à carga em solução e à afinidade com a superfície modificada do TiO_2 (5). Os resultados indicam que o material proposto apresenta desempenho fotocatalítico satisfatório, com destaque para a elevada eficiência na remoção do azul de metileno.

Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que a modificação do TiO_2 com folha de mandioca resultou em um material eficiente na remoção de corantes orgânicos, com destaque para o azul de metileno, cuja elevada taxa de adsorção contribuiu para uma fotodegradação superior a 99%. A proposta se mostra promissora como alternativa sustentável para o tratamento de efluentes contendo corantes sintéticos.

Agradecimentos

CAPES, CNPQ, FAPEPI, UFPI, UMA, INCT polissacarídeos.

Referências

1. A. P. Periyasamy. *Cleaner Water* **2025**, 4, 100092.
2. T. T. Pham; T. T. Thuy Le. *Physica B Condens Matter* **2025**, 714, 417465.
3. J. A. de Oliveira; F. P. Araújo; A. Í. Moraes; I. S. Lima; C. N. Botelho; F. S. Damos; R. de C. S. Luz; L. M. C. Honório; S. Medina-Carrasco; E. C. da Silva-Filho; J. A. Osajima. *Mater Chem Phys* **2024**, 328.
4. S. Chaiareekitwat; S. Latif; B. Mahayothee; P. Khuwijitjaru; M. Nagle; S. Amawan; J. Müller. *Food Chem* **2022**, 372, 131173.
5. A. Ranjbari; A. P. Anbari; M. Kashif; K. K. Adhikary; K. H. Kim; P. M. Heynderickx. *Chemical Engineering Journal* **2025**, 505, 159526.