

Síntese, Caracterização e Aplicação de Catalisadores Sólidos à Base de Silicato de Zinco para a Fotodegradação do Corante Índigo de Carmina

Synthesis, Characterization and Application of Zinc Silicate-Based Solid Catalysts for the Photodegradation of Carmine Indigo Dye

Angélica A. Souza, Elaine A. F. Braga, Michelly P. S. Almeida & Marccus V. A. Martins

Neste trabalho foram sintetizados três materiais semicondutores mistos à base de silicato de zinco (Zn_2SiO_4) com diferentes quantidades de matéria de acetato de zinco (0,01, 0,03 e 0,06 mol), formando os materiais SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3 . A caracterização por meio da espectroscopia na região do infravermelho (FTIR) confirmou a presença das ligações químicas presentes no ZnO e no grupo silicato (Si-O-Si). Os Difractogramas de raios-X (DRX) revelaram que os materiais possuem elevada cristalinidade, apresentando fase predominante da willemite. Por meio das imagens de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), os pós SiZn_1 e SiZn_2 apresentaram nanoe estruturas com geometrias aproximadamente esféricas e com menor segregação do material, diferentemente do pó SiZn_3 . A eficiência fotocatalítica dos três óxidos mistos foi testada em reações heterogêneas de fotodegradação do corante índigo de carmina. O pó SiZn_2 teve o melhor desempenho fotocatalítico em degradar 99,38% do corante em 90 minutos de reação com a luz artificial, comparado aos demais materiais sintetizados. Neste sentido, o material sintetizado utilizando 0,03 mol de acetato de zinco apresentou-se como um excelente material semicondutor para degradação do corante índigo de carmina em meio aquoso.

Palavras-chave: *óxidos mistos; fotodegradação heterogênea; índigo de carmina.*

In this work, three mixed semiconductor materials based on zinc silicate (Zn_2SiO_4) were synthesized with different amounts of zinc acetate matter (0.01, 0.03 and 0.06 mol), forming the Si – O – Si Si – O – Si materials SiZn_1 , SiZn_2 and SiZn_3 . Characterization using infrared spectroscopy (FTIR) confirmed the presence of chemical bonds present in ZnO and the silicate group (). The X-ray diffractograms (XRD) revealed that the materials have high crystallinity, presenting a predominant phase of willemite. Using Scanning Electron Microscopy (SEM) images, SiZn_1 and SiZn_2 powders presented nanostructures with approximately spherical geometries and less segregation of the material, unlike SiZn_3 powder. The photocatalytic efficiency of the three mixed oxides was tested in heterogeneous photodegradation reactions of the indigo carmine dye. The SiZn_2 powder had the best photocatalytic performance in degrading 99.38% of the dye in 90 minutes of reaction with artificial light, compared to the other synthesized materials. In this sense, the material synthesized using 0.03 mol of zinc acetate proved to be an excellent semiconductor material for degradation of the indigo carmine dye in an aqueous medium.

Keywords: *mixed oxides; heterogeneous photodegradation; carmine indigo.*

Introdução

A elevada atividade dos setores industriais no planeta tem como consequência a geração de poluentes devido à grande quantidade de resíduos. Em vista desse problema, existem vários estudos científicos relacionados ao tratamento do meio ambiente, buscando metodologias eficazes para reverter a contaminação.¹

De acordo com Kunz et al.,² a poluição da água com os corantes além de poluir visualmente, pode alterar os ciclos biológicos, afetando os processos de fotossíntese. Algumas classes de corantes, principalmente azocorantes e seus subprodutos, podem causar câncer e ser mutagênico.

Segmentos industriais de setores como alimentícios, farmacêuticos, têxteis, entre outros contribuem bastante com a contaminação devido à grande utilização de corantes artificiais para a produção dos seus produtos.³ Dentre vários corantes, podemos destacar o índigo de carmina,⁴ que é bastante utilizado na indústria têxtil, principalmente na jeans.

De acordo com Bolzon, “o corante índigo de carmina (nome de acordo com a IUPAC: 3,3'-dioxo-2,2'- bis-indolideno 5,5'-dissulfonato de disódio), é comercialmente conhecido como sal de Indigotina 5,5 dissulfonato de disódio, FD & C Azul 2 ou Ácido Azul W.”⁵ O sistema conjugado H-cromóforo é o que caracteriza a cor na estrutura do corante, nela contém ligação dupla C = C C = C que liga a dois grupos doadores π NH e dois grupos receptores π CO, conforme a Figura 1 abaixo:

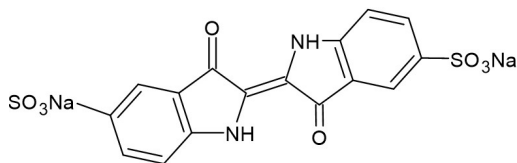


Figura 1. Estrutura molecular do Índigo de Carmina. Fonte: Bolzon⁵

Devido às ações prejudiciais causadas pelos corantes, os estudos estão cada vez mais atenciosos à descontaminação do meio ambiente. Dentre elas destacamos a síntese de óxidos mistos, produzidos via sol-gel, aplicados em fotodegradação de corantes e outros contaminantes. A literatura⁶ reporta a

síntese e aplicação de várias configurações desses óxidos mistos como materiais semicondutores aplicáveis em reações de fotodegradação de corantes orgânicos.

O ZnO se destaca como fotocatalisador pelas suas habilidades fotocatalíticas na degradação de poluentes ambientais, por conta da sua estrutura eletrônica ser caracterizada por uma banda de valência (BV) preenchida e uma banda de condução (BC) vazia.⁷ O óxido de zinco pode ser sintetizado por vários métodos, por via sol-gel, por condensação da fase gasosa, estado sólido e também pelo método químico de precipitação em fase líquida.⁸

Sol-gel⁹ é um processo que é denominado como transição de uma solução ou sol que é transformado em gel. Esta modificação acontece pelo estabelecimento de ligações químicas entre as partículas ou entre as espécies moleculares, induzindo a organização de uma rede sólida tridimensional. O método via sol-gel compreende várias técnicas para obtenções de elevada pureza química com homogeneidade em nível molecular.¹⁰

Diante do exposto, este trabalho propôs a síntese, caracterização e aplicação de óxidos mistos à base de zinco e silício para aplicá-los em reação de fotodegradação do corante têxtil índigo de carmina. Investigou-se qual a melhor rota de síntese dos pós de Zn_2SiO_4 produzidos para a completa remoção do corante em meio aquoso.

Metodologia

SÍNTESE DOS ÓXIDOS MISTOS À BASE SE ZINCO E SILÍCIO ($\text{ZNO}/\text{ZN}_2\text{SiO}_4$)

Em um béquer de 100 mL foram adicionados 0,04 mol de TEOS (Ortosilicato de tetraetila)(Aldrich), 7,5 mL de etanol e 0,2 mL de ácido nítrico (Merck), em seguida colocou-se sob agitação magnética por 30 minutos, até completa homogeneização (Figura 2a). Depois, foram adicionados 0,01 mol de acetato de zinco (Neon) dissolvido em 10 mL de água. Foi deixado por agitação durante 3 horas até a formação do gel. Em seguida o gel (Figura 2b) foi transferido para autoclave (Figura 2c), colocado na estufa por 150 °C/12h. Após esse tempo o material foi transferido para um cadinho e levado à calcinação a 600 °C/12 horas. Esse procedimento foi repetido mais

duas vezes variando a quantidade de acetato de zinco (0,03 mol e 0,06 mol). Os três materiais produzidos foram denominados SiZn_1 , Si/Zn_2 e Si/Zn_3 .

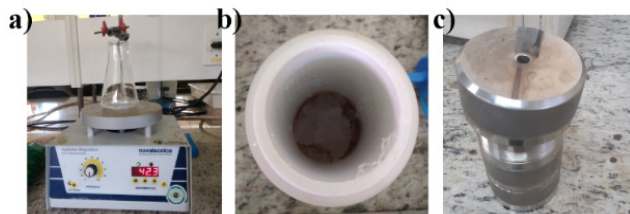


Figura 2. Síntese dos catalisadores (a); gel em autoclave (b); autoclave com o material para ser colocado na estufa (c).

Caracterização dos Óxidos Mistos à Base de Zn_2SiO_4

ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FT-IR)

Os espectros das amostras na forma de pó, foram adquiridos pela técnica de transmissão em pastilha de KBr, utilizando um espectrofotômetro de absorção no infravermelho Bruker Vertex 70. Os espectros foram adquiridos na faixa espectral de $400 - 4000 \text{ cm}^{-1}$, com uma resolução de 4 cm^{-1} , sendo o espectro o resultado da média de 64 medidas.

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

Os pós das amostras SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3 foram dispersos em álcool etílico e, em seguida, homogeneizadas em banho ultrassônico. Uma alíquota da suspensão foi então depositada sobre lamínula de vidro e seca a vácuo por uma hora à temperatura de 25°C . Após a secagem, a amostra foi recoberta com ouro como material condutor. As imagens foram obtidas com um microscópio eletrônico de varredura (MEV) Jeol JSM-7100F, no modo de detecção de elétrons secundários (SED) com tensão de aceleração de elétrons de 5 kV .

DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

As medidas de difração de raios-X (DRX) foram realizadas em um difratômetro Bruker D8 Discover. Utilizou-se radiação monocromática de um tubo com anodo de cobre acoplado a um monocromador Johansson

para $\text{K}\alpha 1$ operando em 40 kV e 40 mA , configuração Bragg-Bretano θ - 2θ , detector unidimensional Lynxeye®, intervalo de 2θ de 5° a 80° , com passo de $0,01^\circ$. As amostras foram mantidas em rotação 15 rpm durante a medida.

APLICAÇÃO EM FOTODEGRADAÇÃO

Preparou-se uma solução estoque do corante índigo de carmina de 1000 ppm . Com essa solução estoque, fez-se uma diluição, obtendo nova solução com 100 mL a 30 ppm , e esta foi adicionada a um bquer de vidro com $0,5 \text{ g}$ do pó com SiZn_1 . Esta suspensão foi colocada em um em foto reator, desenvolvido no próprio laboratório, o qual permaneceu sob agitação magnética e irradiação de lâmpada de vapor de mercúrio de 125 W até completar 3 horas. Alíquotas de $2,0 \text{ mL}$ foram coletadas de 30 em 30 minutos até que ocorresse a degradação do corante. Esse procedimento foi repetido com os pós SiZn_2 e SiZn_3 sendo realizados em triplicata. A quantidade dos corantes degradados foi determinada por espectroscopia na região UV/Visível (equipamento: BEL UV-M51 UV- Visível). A porcentagem de degradação foi calculada usando a Equação 1:

$$\%R = \frac{C_o - C_e(100)}{C_e} \quad \%R = \frac{C_o - C_e(100)}{C_e} \quad (1)$$

Na qual $\%R$ indica a porcentagem do corante que foi degradado, C_o é a concentração inicial do corante em mg.L^{-1} ou ppm e C_e é a concentração após a reação de fotodegradação do corante. A porcentagem de degradação foi determinada através da média das triplicatas das curvas de fotodegradação realizadas.

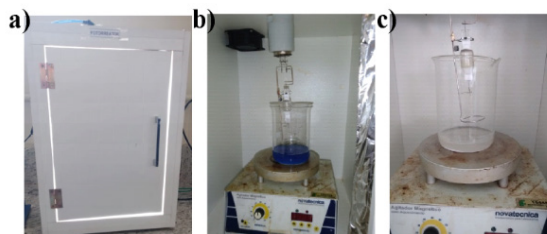


Figura 3. Foto reator usado na fotodegradação do corante (a). Início da fotorreação usando o SiZn_2 (b) Suspensão do corante após 60 minutos de reação SiZn_2 (c).

Resultados e Discussão

SÍNTESE DOS ÓXIDOS MISTOS

Os óxidos foram sintetizados via método sol-gel⁹ em sistema hidrotérmico. O sol-gel é formado através da reação de hidrólise seguida da reação de condensação, e por último a calcinação com a finalidade de formar os óxidos mistos. Foram produzidos três óxidos com diferentes concentrações do precursor acetato de zinco. A Tabela 1 mostra os resultados das porcentagens de zinco em cada pó produzido.

Tabela 1. Porcentagem de óxido de zinco encontrada nos pós SiZn₁, SiZn₂ e SiZn₃.

Fotocatalisador	Porcentagem do óxido (%)
SiZn ₁	20
SiZn ₂	44
SiZn ₃	61

ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO (FT-IR)

Empregou-se a espectroscopia na região do Infravermelho para obter informações importantes a respeito da estrutura química dos materiais. A Figura 4 apresenta os espectros de FT-IR dos pós de SiZn₁ (preto), SiZn₂ (vermelho) e SiZn₃ (verde). Para todos os espectros, observa-se a presença de uma banda na região compreendida entre 3200 e 3680 cm⁻¹, a qual pode ser associada ao modo de vibração de estiramento da ligação O -- H O -- H, atribuída possivelmente a adsorção de moléculas de água na superfície dos óxidos, como relatado também por Priyadharshini et al.¹¹ Na região de 1633 cm⁻¹, aparece uma banda para os materiais SiZn₁, SiZn₂, e que aparece deslocada em 1643 cm⁻¹. Essa banda é atribuída ao modo de vibração de deformação angular da ligação O -- H O -- H.¹¹ Os estiramentos em 1075 cm⁻¹ para SiZn₁ e 1100 cm⁻¹ em SiZn₂ e SiZn₃ correspondem as vibrações associadas a sílica Si -- O -- Si Si -- O Si.¹² De acordo com Oliveira *et al.*¹³ os ortossilicatos são caracterizados por estiramentos em 977, 934, 901, 865, 610 e 578 cm⁻¹, portanto, em 926 e 578 cm⁻¹ para o SiZn₁, 936 e 607 cm⁻¹

para o SiZn₂ e 916 e 607 cm⁻¹ para o SiZn₃, correspondem ao de silicato de zinco (Zn₂SiO₄), como estudado também por Zaid *et al.*¹⁴ É possível observar as bandas vibracionais típicas do metal ligado ao oxigênio, ZnO de SiZn₁ e SiZn₃ em 448 cm⁻¹, SiZn₂ em 458 cm⁻¹, como visto também por Khana *et al.*¹⁵

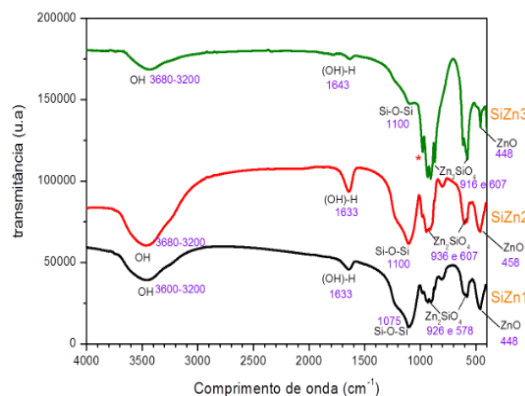


Figura 4. Espectros vibracionais da região do infravermelho para os óxidos mistos SiZn₁ (preto), SiZn₂ (vermelho) e SiZn₃ (verde).

Pode-se observar também a presença de um deslocamento intenso na região entre 900 cm⁻¹ e 1000 cm⁻¹ no espectro do pó SiZn₃, ao qual se difere dos estiramentos de SiZn₁ e SiZn₂, em que as bandas são mais intensas e estão entre 1100 cm⁻¹ até 1200 cm⁻¹. Este deslocamento no espectro de SiZn₃ pode estar atribuído a existências de novas ligações no Zn₂SiO₄, referentes a formação da willemita,^{16,17} podendo ser explicado devido à maior quantidade de acetato de zinco utilizada na síntese. Oliveira *et al.*¹³ utilizaram condições reacionais similares com a síntese do SiZn₃, e comprovaram a formação de Zn₂SiO₄ na fase cristalina no seu material, apresentando bandas de FT-IR semelhantes com o material SiZn₃.

MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A fim de se analisar as propriedades morfológicas dos catalisadores produzidos empregou-se a Microscopia de Eletrônica de Varredura (MEV) em diferentes magnificações (10 mil e 50 mil vezes de aumento), conforme pode ser visualizado na Figura 5. De um modo geral os

três materiais sintetizados apresentam partículas com geometrias não tão bem definidas e segregadas, como pode ser visto nas Figuras 5 (a-c). No entanto, para o material SiZn_1 , as partículas apresentam uma morfologia mais bem definida, sendo mais distribuídas e com tamanhos mais homogêneos, dentro das dimensões manométricas (Figura 5d), aproximando-se de esferas. Por outro lado, para os pós SiZn_2 (Figura 5e) e SiZn_3 (Figura 5f), os aglomerados tendem a ser maiores, apresentando maior destaque para o SiZn_3 . Isso sugere que as fases cristalinas podem estar mais estruturadas no SiZn_3 .

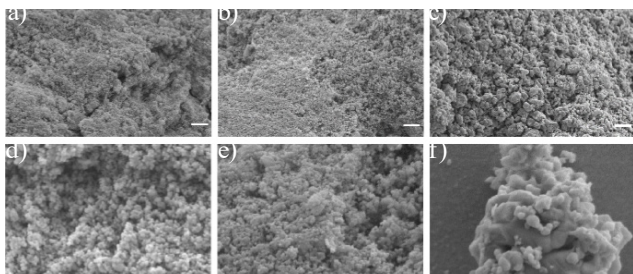


Figura 5. Imagens de Microscopia de Eletrônica de Varredura com amplificação de 10,000 vezes para (a) SiZn_1 , (b) SiZn_2 e (c) SiZn_3 , e com amplificação de 50,000 vezes para (d) SiZn_1 , (e) SiZn_2 e (f) SiZn_3 .

DIFRATOMETRIA DE RAIOS-X (DRX)

A difração de raios-X foi realizada para obter informações sobre a cristalinidade a respeito dos materiais produzidos, considerando as possíveis fases cristalinas formadas. Na difração de raios-X foi utilizado o programa *Crystallographica Search-Match*, como banco de dados, obtendo assim informações das fases presentes nos pós. Nas três amostras produzidas pode-se observar a predominância da willemita,^{16,17} estrutura romboédrica indexada pela carta n° 37-1485, de sílica de zinco (Zn_2SiO_4) carta n° 36-1451. Porém, observa-se também a presença da fase secundária de óxido de zinco (ZnO), apresentando estrutura hexagonal n° 36-1451.

De acordo com a Figura 6, que apresenta os difratogramas de raios-X dos materiais à base de Zn_2SiO_4 , a partir do pó SiZn_1 , observa-se a presença de duas fases cristalinas, a de Zn_2SiO_4 majoritária e de ZnO . Alguns picos são característicos de duas fases, para os quais representam a presença de Zn_2SiO_4 e ZnO .

A formação da fase do ZnO ocorre pela segregação do zinco no material, ficando então mais definida no SiZn_3 , como previsto, por ter utilizado maior concentração de acetato de zinco na síntese, corroborando com as características morfológicas vistas na Figura 5(f).

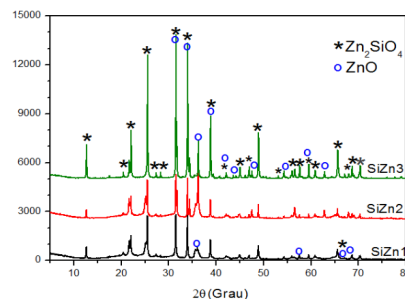


Figura 6. Difratometria de raios-X para os pós: SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3 .

APLICAÇÃO EM FOTODEGRADAÇÃO

Para a degradação do corante índigo de carmina utilizou-se a fotocatalise heterogênea que envolveu a ativação do semiconductor Zn_2SiO_4 com a luz artificial. Neste sentido, para os três fotocatalisadores (SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3) realizou-se a fotodegradação com tempos de exposição à luz artificial variando de 0 a 180 minutos, como pode ser observado na Figura 7.

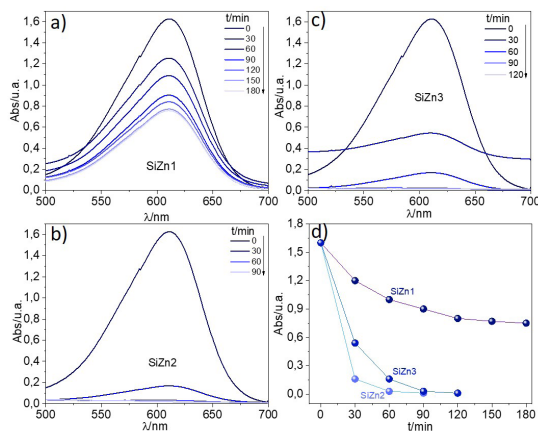


Figura 7. Espectros UV-VIS da solução do SDFcorante índigo de carmina expostos em diferentes tempos de radiação artificial na presença dos fotocatalisadores: (a) SiZn_1 , (b) SiZn_2 e (c) SiZn_3 . (d) Curvas de decaimento da concentração em função do tempo de exposição à luz artificial para os três pós SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3 .

Para os três fotocatalisadores, observa-se que a absorvância, no comprimento de onda máximo de 610 nm, diminui conforme o tempo de exposição à luz aumentada. Porém, o pó SiZn_1 apresentou o menor desempenho na fotodegradação do corante, chegando a 54% de degradação com 180 minutos (Figura 7a). No entanto, em 90 minutos de tempo de exposição à luz o pó SiZn_2 causou uma degradação de 99,38% do corante, conforme pode ser visto na Figura 7(b). Já o pó SiZn_3 , no mesmo tempo de 90 minutos, degradou 98,2% do corante (ver Figura 7c). Ao analisar as curvas de decaimento (absorvância em função do tempo), fica mais nítido que a velocidade de degradação do corante pelo pó SiZn_2 é a mais rápida quando comparada com as curvas do SiZn_1 e SiZn_3 , conforme visto na Figura 7(d). A remoção de quase 100% da concentração do corante pelo material SiZn_2 , apresenta-se mais eficiente do que outros trabalhos reportados na literatura^{18,19} que utilizam materiais similares, mas que requerem uma síntese mais sofisticada. Esse comportamento demonstra que a concentração do corante é reduzida na medida em que são geradas espécies radicalares ($\text{OH}^\cdot$, $\text{OH}^\cdot$ e $\text{O}_2^\cdot$) na superfície do fotocatalisador SiZn_2 , conforme proposto no mecanismo representado na Figura 8. Inicialmente, ocorre a adsorção do corante índigo de carmina na superfície do semiconductor SiZn_2 para depois ocorrer a fotodegradação. O processo de fotodegradação representado demonstra que esse material é um excelente fotocatalisador para remover o corante índigo de carmina de sistemas aquosos.

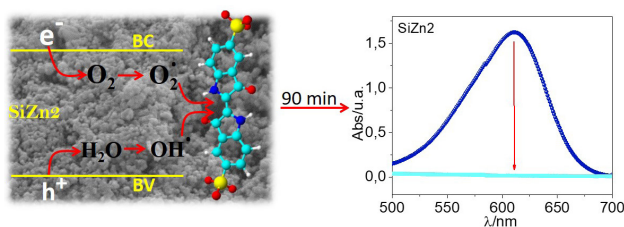


Figura 8. Representação esquemática do processo de adsorção do corante seguido da degradação fotocatalisada pelo pó SiZn_2 .

Considerações Finais

As diferentes quantidades de acetato de zinco (0,01 mol, 0,03 mol e 0,06 mol) utilizadas na síntese dos óxidos mistos Zn_2SiO_4 resultaram em propriedades físico-químicas diferentes nos materiais SiZn_1 , SiZn_2 e SiZn_3 . A quantidade de matéria utilizada de 0,03 mol do acetato de zinco na síntese do SiZn_2 promoveu a produção de nanoestruturas constituídas de ZnO e Zn_2SiO_4 aproximadamente esféricas e com elevada cristalinidade na forma predominante de willemita. As ligações químicas presentes neste material foram confirmadas por difração de raios-X e espectroscopia na região do infravermelho. O pó SiZn_2 apresentou o melhor desempenho fotocatalítico para degradar o corante índigo de carmina, chegando a praticamente 100% de remoção da estrutura química do corante em 90 minutos de exposição à luz artificial UV. Esses resultados demonstraram que esse óxido misto à base de Zn_2SiO_4 é um excelente removedor do corante índigo de carmina através de reações de fotodegradação em meio aquoso.

Agradecimentos

Expressamos fortemente o nosso agradecimento ao Edital PROAPP/IFG, pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

Referências

1. YU, S.Y.; XIE, Z.H.; WU, X.; ZHENG, Y.Z.; SHI, Y.; XIONG, Z.K.; ZHOU, P.; LIU, Y.; HE, C.S.; PAN, Z.C.; WANG, K.J.; LAI, B. *Chin. Chem. Lett.* **2024**, 35, 108714.
2. KUNS, A.; ZAMORA, P. P.; MORAES, S. G.; DURÁN, N. *Química Nova* **2002**, 25, 78.
3. O. AKEREMALE. *J. Chem. Rev.* **2022**, 4, 1.
4. CHOWDHURY, M.F.; KHANDAKER, S.; SARKER, F.; ISLAM, A.; RAHMAN, M.T.; AWUAL, M.R.. *J. Mol. Liq.* **2020**, 318, 114061.
5. BOLZON, L. B. *Nb2O5 como Fotocatalisador para a Degradação do Índigo de Carmina*, **2007**. 55 p. Dissertação (Mestrado em Química)- Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, **2007**.
6. YADAV, S.; SHAKYA, K.; GUPTA, A.; SINGH, D.; CHANDRAN, A. R.; AANAPPALLI, A. V.; GOYAL, K.; RANI, N.; SAINI, K. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **2022**, 29, 1.

7. MAYRINCK, C.; RAPHAEL, E.; FERRARI, J. L.; SCHIAVON, M. A. *Revista Virtual de Química* **2014**, 6, 1185.
8. SILVA, S. S.; MAGALHÃES, F.; SANSIVIERO, M. T. C. *Química Nova* **2010**, 33, 85.
9. BASKARAN, K.; ALI, M.; GINGRICH, K.; PORTER, D. L.; CHONG, S.; RILEY, B.J.; PEAK, C.W.; NALEWAY, S.E.; ZHAROV, I.; CARLSON, K. *Microporous Mesoporous Mater.* **2022**, 336, 111874.
10. BRAGA, A. N. S.; DUARTE, J. F. N.; MENEZES, R. R.; LIRA, H. L.; NEVES G. A. *Revista Eletrônica de Materiais e Processos* **2014**, 9, 60.
11. PRIYADHARSHINI, S.S.; SHUBHA, J.P.; SHIVALINGAPPA, J.; ADIL, S.F.; KUNIYIL, M.; HATSHAN, M.R.; SHAIK, B.; KAVALLI, K. *Crystals* **2022**, 12, 22.
12. ONUTAI, S.; OSUGI, T.; SONE, T. *Materials* **2023**, 16, 985.
13. OLIVEIRA, H. F. N.; TRINCA, R. B.; GUSHIKEM, Y. *Química Nova* **2009**, 32, 1346.
14. ZAID, M.H.M.; MATORI, K.A.; AZIZ, S.H.A.; KAMARI, H.M.; WAHAB, Z.A.; FEN, Y.W.; ALIBE, I.M. *J. Mater. Sci. Mater. Electron.* **2016**, 27, 11158.
15. KHANA, S.A.; NOREEN, F.; KANWAL, S.; IQBAL, A.; HUSSAIN, G. *Mater. Sci. Eng. C* **2018**, 82, 46.
16. EFFENDY, N.; WAHAB, Z.A.; KAMARI, H.M.; MATORI, K.A.; AB AZIZ, S.H.; ZAID, M.H.M. *Optik* **2016**, 127, 11698.
17. ZAID, M.H.M.; MATORI, K.A.; AZIZ, S.H.A.; KAMARI, H.M.; YUNUS, W.M.M.; Samsudin, N.F. *J. Spec.* **2016**, 2016, 8084301.
18. DHARA, A.; BARAL, A.; CHABRI, S.; SINHA, A.; BANDYOPADHYAY, N.R.; MUKHERJEE, N.; *J. Inst. Eng. Ser. D.* **2017**, 98, 1.
19. FATIMAH, I.; PURWIANDONO, G.; CITRADEWI, P.W.; SAGADEVAN, S.; OH, W.C.; DOONG, R.A. *Nanomaterials* **2021**, 11, 3427.

Angélica A. Souza¹, Elaine A. F. Braga^{1*}, Michelly Patrícia S. Almeida² & Marccus V. A. Martins³

¹Instituto Federal de Goiás – Campus Inhumas

²Instituto Federal de Goiás – Campus Aparecida de Goiânia

³Instituto Federal Goiano-Campus Catalão

*E-mail: elaine.faria@ifg.edu.br