

CAPÍTULO 1

RELATOS DE EXPERIÊNCIAS NA INICIAÇÃO CIENTÍFICA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA JÚNIOR POR MEIO DA PESQUISA EM FOTOCATÁLISE DE CORANTES EMPREGANDO COMPÓSITOS BASEADOS EM SEMICONDUTORES E MATERIAL CARBONÁCEO

Data de submissão: 11/10/2023

Data de aceite: 01/12/2023

Paulo dos Santos Santana

Universidade do Estado da Bahia/
Departamento de Ciências Exatas e da
Terra I, Curso de Licenciatura em Química
Salvador-Bahia
<https://lattes.cnpq.br/8389482277111748>

Igor de Andrade Rodrigues

Universidade do Estado da Bahia/
Departamento de Ciências Exatas e
da Terra I, Curso de Licenciatura em
Química/Programa de Pós-Graduação em
Química Aplicada
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/2263022988748577>

Maria Fernanda Neves

Universidade do Estado da Bahia/
Departamento de Ciências Exatas e da
Terra I, Curso de Licenciatura em Química
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/4786186916897758>

Kenyon Alves dos Santos

Colégio Mário Leal Teixeira de Freitas
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/4518226609694828>

Lucas Malone Ferreira de Castro

Universidade Federal da Bahia-Escola
Politécnica-Programa de Pós-graduação
em Engenharia Química
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/2169114651161501>

Letícia Santos de Jesus

Universidade do Estado da Bahia/
Departamento de Ciências Exatas e da
Terra I, Programa de Pós-Graduação em
Química Aplicada
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/8259405049215536>

Marluce Oliveira da Guarda Souza

Universidade do Estado da Bahia/
Departamento de Ciências Exatas e da
Terra, Programa de Pós-Graduação em
Química Aplicada
Salvador-Bahia
<http://lattes.cnpq.br/8446729745863575>

RESUMO: Na presente publicação são relatadas pesquisas na fotocatalise heterogênea, empregando dois sistemas e envolvendo dois bolsistas iniciação científica (IC) e uma voluntária do Curso de Licenciatura em Química, além de um bolsista ICJúnior (estudante do Ensino Médio). Em um dos estudos fotocatalíticos empregou-se solução de azul de metileno (100 mg L^{-1}) e 0,2g de óxido de ferro, preparados por precipitação do nitrato de ferro com hidróxido de amônio, ou hidróxido de potássio, e por combustão

em solução. Foram usados também compósitos óxido de ferro/material carbonáceo obtidos acrescentando semente de goiaba nas sínteses mencionadas. Todas as amostras conduziram a descolorações da solução variando de 85 a 92%, em 120 minutos de teste, superando a fotólise (58%). Na outra investigação, foram empregados dióxido de titânio/óxido de ferro com e sem material carbonáceo (oriundo da semente de manga), obtidos por combustão em solução, na fotocatalise de misturas de azul de metileno, alaranjado de metila e cristal de violeta (100 mg L⁻¹) e do resíduo acumulado (concentração desconhecida). Os resultados mostraram que o material carbonáceo beneficia a atividade fotocatalítica dos semicondutores, tanto na fotocatalise da mistura de corantes (100 mg L⁻¹), quanto do resíduo (concentração desconhecida) atingindo descolorações 77 e 67%, respectivamente, superiores às outras amostras e à fotólise (aproximadamente 40%). Essas investigações proporcionaram aos bolsistas de IC aprofundar os conhecimentos na área de tratamento de efluentes, destacando a fotocatalise heterogênea, assim como ampliar as habilidades e competências para pesquisa científica. Já a voluntária, no início do curso de graduação, e o bolsista IC Júnior tiveram oportunidade de conhecer técnicas e procedimentos de laboratório aplicados nas pesquisas, não experimentados antes. Os pesquisadores iniciantes participaram também do aprimoramento e aplicação de uma oficina de fotocatalise, ofertada pelo grupo de pesquisa, a estudantes do ensino médio, compartilhando conhecimentos e contribuindo com a educação ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: Educação ambiental; Iniciação científica; fotocatalise.

REPORTS OF EXPERIENCES IN SCIENTIFIC INITIATION AND JUNIOR SCIENTIFIC INITIATION THROUGH RESEARCH IN PHOTOCATALYSIS OF DYES USING COMPOSITES BASED ON SEMICONDUCTORS AND CARBONACEOUS MATERIAL

ABSTRACT: In this publication, research on heterogeneous photocatalysis is reported, using two systems and involving two Scientific Initiation (IC) undergraduate research students and a volunteer chemistry licentiate student, in addition to an IC Junior scholarship holder (high school student). In one of the photocatalytic studies, a solution of methylene blue (100 mg L⁻¹) and 0.2 g of iron oxide was used, prepared by precipitation of iron nitrate with ammonium hydroxide, or potassium hydroxide, and by combustion in solution. Iron oxide/carbonaceous material composites obtained by adding guava seed in the mentioned syntheses were also used. All samples led to solution discolorations ranging from 85 to 92% in 120 minutes of testing, surpassing photolysis (58%). In the other investigation, titanium dioxide/iron oxide with and without carbonaceous material (from mango seeds), obtained by combustion in solution, was used in the photocatalysis of mixtures of methylene blue, methyl orange and crystal violet (100 mg L⁻¹) and their residue (unknown concentration). The results showed that the carbonaceous material enhances the photocatalytic activity of semiconductors, both in the photocatalysis of the dye mixture (100 mg L⁻¹) and of the residue (unknown concentration) achieving discolorations of 77 and 67%, respectively, higher than the other samples and photolysis (approximately 40%). These investigations allowed the IC students to deepen their knowledge in the area of effluent treatment, highlighting heterogeneous photocatalysis, as well as expanding their skills and competencies for scientific research. The volunteer, who was at the beginning of her undergraduate course, and the IC Junior student had the opportunity

to learn about laboratory techniques and procedures applied to research, which they had not tried before. The beginning researchers also participated in the improvement and application of a photocatalysis workshop offered by the research group to high school students, sharing knowledge and contributing to environmental education.

KEYWORDS: Environmental education; Scientific Initiation; photocatalysis

INTRODUÇÃO

Preservação e recuperação de recursos hídricos movimentam ações governamentais e de organizações mundiais, estando também entre os principais objetos de pesquisa científica e tecnológica. Entre os desafios das investigações está a busca por processos que favoreçam o desenvolvimento econômico, sem comprometer a qualidade ambiental abrangendo distintos setores (CAMPOS et al., 2021).

Diversos ramos de atividades interferem no ecossistema como os setores agroindustriais e têxteis, que quando despejam efluentes nos corpos d'água levam a alterações biológicas nos rios, interferindo na fotossíntese, podendo causar danos à flora e à fauna aquática, sendo requeridos, portanto, desenvolvimento ou aperfeiçoamento de processos para retirar os contaminantes da água (PAVANI et al., 2022). Entre os processos de descontaminação ambiental são estudados os Processos Oxidativos Avançados (POA), que incluem um conjunto de tecnologias baseadas na formação de radicais hidroxila (OH), altamente oxidante, provocando a transformação de várias classes de compostos em dióxido de carbono (CO₂) e água (H₂O), sendo indicados para tratamento de águas residuárias (NOGUEIRA, JARDIM, 1998; PERTUZ et al., 2018).

Os POA incluem a fotocatalise heterogênea cujo princípio envolve a ativação de um semicondutor por radiação de luz solar e/ou ultravioleta, gerando pares elétron(-)/lacuna(h+) que interagem com espécies adsorvidas, produzindo radicais responsáveis pela degradação de contaminantes (PAVANI et al., 2022). O catalisador mais utilizado na fotocatalise heterogênea é o dióxido de titânio (TiO₂) pois tem alta atividade de degradação, além de ser estável, de fácil acesso comercial e baixa toxicidade, porém apresenta limitações quanto à ativação na região do visível e a dificuldade de separação do meio reacional (LOPES et al., 2021).

Os óxidos de ferro também são empregados na fotocatalise nas fases magnetita, goetita, maghemita e hematita, sendo alternativas atraentes para remediação da contaminação de águas, pois além de serem eficientes permitem a separação magnética das partículas do meio reacional (SOUZA et al., 2018). Óxidos de ferro, entretanto, apresentam como desvantagem a rápida recombinação do par elétron-lacuna. Como alternativa para superar as limitações tanto dos óxidos de ferro quanto do dióxido de titânio os dois podem ser combinados entre si e com outros materiais, como as matrizes carbonáceas oriundas da biomassa o que contribui para um melhor desempenho fotocatalítico (RODRIGUES et al., 2020).

Os sistemas de avaliação fotocatalítica são considerados importantes também na educação, uma vez que compreendem um conjunto de procedimentos e experimentos que possibilitam aos pesquisadores iniciantes aplicação de conhecimentos básicos, bem como desenvolver habilidades na resolução de problemas associados a atividades humanas e despertar a vocação científica e inovadora (HE et al. 2023). Nesse sentido, a presente publicação se propõe a apresentar e discutir, a partir dos resultados obtidos no desenvolvimento de pesquisas em fotocatalise heterogênea, as percepções de discentes de iniciação científica, estudantes universitários e um estudante do Ensino Médio, analisando o impacto na formação acadêmica e no despertar para a ciência.

METODOLOGIA

Participaram da pesquisa um bolsista de iniciação científica júnior – CNPq/UNEB, estudante da Rede Estadual de Ensino da Bahia, dois bolsistas de iniciação científica CNPq e uma voluntária do grupo de pesquisa estudantes do Curso de Licenciatura em Química da UNEB. Os estudantes pesquisadores iniciantes foram acompanhados por uma discente de mestrado que era também professora da Rede Estadual de Ensino do Estado da Bahia, um discente de doutorado e pela Professora orientadora líder do grupo de pesquisa.

Os discentes realizaram seus estudos por meio de testes fotocatalíticos do corante azul de metileno e misturas alaranjado de metila, azul de metileno e cristal de violeta, empregando semicondutores baseados em óxido de ferro, dióxido de titânio, e compósitos baseados nos semicondutores e em material carbonáceo oriundo da semente de goiaba ou de manga.

Testes fotocatalíticos com corante azul de metileno

Foram realizados testes fotocatalíticos com solução de azul de metileno (100 mg L^{-1}) e $0,2\text{g}$ de fotocatalisador (quadro 1).

Código	Descrição
FCFeP1	Óxido de ferro obtido por precipitação com NH_4OH
FCFeP2	Óxido de ferro obtido por precipitação com KOH
FCGP1	Óxido de ferro obtido por precipitação com NH_4OH /semente de goiaba
FCGP2	Óxido de ferro obtido por precipitação com KOH/semente de goiaba
FCGC1	Óxido de ferro obtido pelo método da combustão em solução/semente de goiaba
FCC2	Óxido de ferro obtido pelo método da combustão em solução

Quadro 1 - Amostras usadas na fotocatalise do azul de metileno

Um reator de 350 mL, fabricado artesanalmente, encamisado, com temperatura externa de 15°C (visando manter a temperatura interna 30°C) foi usado nos testes. Em cada experimento, a suspensão (solução de corante/fotocatalisador) permaneceu por 30 minutos no escuro para promover adsorção das espécies, sendo, em seguida, irradiada por uma Lâmpada de 125 W. Foram retiradas alíquotas de 3 mL em intervalos de 5 a 90 minutos, submetidas a centrifugação, e o sobrenadante foi analisado em um espectrofotômetro UV-Vis a 664 nm. Os testes de fotólise foram realizados nas mesmas condições, na ausência de fotocatalisador, para comparação.

Testes fotocatalíticos com mistura de corantes

Foram realizados testes fotocatalíticos com solução da mistura dos corantes alaranjado de metila, azul de metileno e cristal de violeta, na concentração de 100 mg L⁻¹, utilizando massa de 0,2 g dos fotocatalisadores (quadro 2), prosseguindo como descrito no item anterior. Após a finalização dos testes fotocatalíticos utilizando a mistura de corantes, o resíduo (solução/catalisador) foi armazenado e em seguida filtrado para a retirada dos sólidos. Posteriormente foram realizados testes fotocatalíticos com o resíduo acumulado, nos diversos experimentos, portanto com concentração desconhecida com o intuito de simular efluentes reais.

Código	Descrição das amostras obtidas por combustão em solução
Fe/Ti 1:1	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio misturados na razão 1:1
Fe/Ti 1:2	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio misturados na razão 1:2
Fe/Ti 2:1	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio misturados na razão 2:1
Fe/Ti/C 1:1:1	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio/material carbonáceo misturados na razão 1:1:1
Fe/Ti/C 1:1:2	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio/material carbonáceo misturados na razão 1:1:2
Fe/Ti/C 2:1:1	Óxido de Ferro/Dióxido de titânio/material carbonáceo misturados na razão 2:1:1

Quadro 2- Amostras usadas na fotocatalise da mistura de corantes e do respectivo resíduo

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes fotocatalíticos com corante azul de metileno

É possível observar a descoloração visualmente (figura 1), sendo este aspecto relevante para o acompanhamento por parte do bolsista de Iniciação Científica Júnior, que ainda está cursando o segundo ano do Ensino Médio, tendo poucos conhecimentos de química.

Por outro lado, o discente de Iniciação Científica, em fase de conclusão do curso de graduação, já tinha conhecimentos suficientes para tratar os dados experimentais obtidos nas análises por espectrofotometria UV- Vis, obtendo as curvas apresentadas na figura 2.

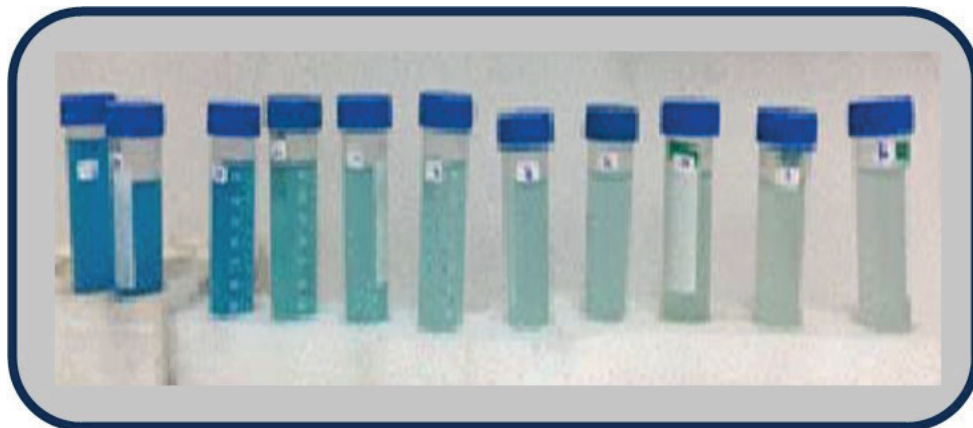


Figura 1 Alíquotas recolhidas no teste fotocatalítico em distintos intervalos de tempo

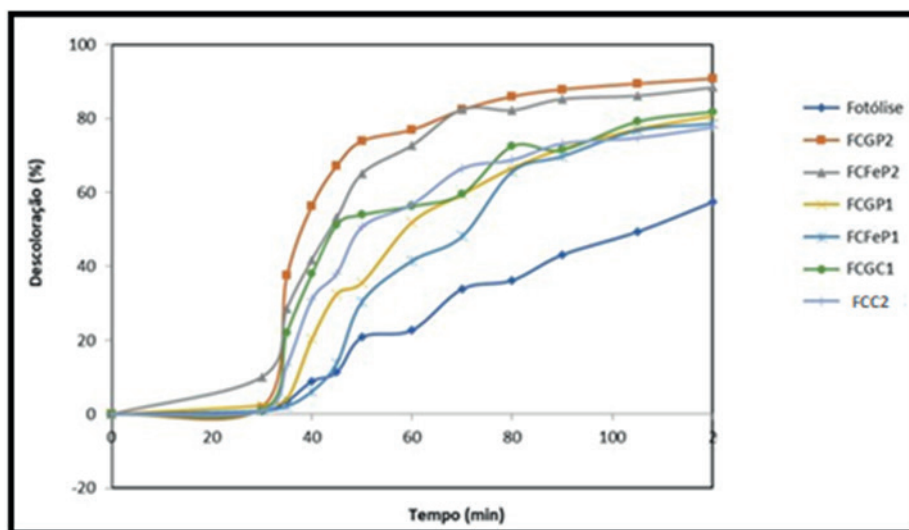


Figura 2 – Descoloração em função do tempo na fotocatalise do azul de metileno

Observa-se que a amostra (FCGP2) promoveu uma maior descoloração, de forma crescente ao longo do tempo alcançando 92%, após 120 minutos de teste.

As amostras FCGP1, FCFE2 e FCFE1 também apresentaram bons desempenhos (figura 2), com descolorações 88%, 85% e 87%, respectivamente, em 120 minutos de teste. De modo semelhante, as amostras obtidas por combustão (FCGC1 FCGC2) são promissoras para emprego na fotocatalise, sendo significativamente superior à fotólise que descoloriu 58%, evidenciando o potencial dos dois métodos na produção de semicondutores, baseados em óxido de ferro, promissores para emprego na fotocatalise heterogênea.

Testes fotocatalíticos com mistura de corantes

Os testes fotocatalíticos com a mistura de corantes, com concentração 100 mg L^{-1} , também foram realizados por um bolsista de iniciação científica do curso de Licenciatura em Química, já tendo cursado a maioria das disciplinas específicas, acompanhado por uma discente voluntária que está iniciando o curso. Nesse caso, o acompanhamento visual também ajuda a compreender o fenômeno, tanto da curva de calibração, quanto da descoloração ao longo do tempo, que evidencia o efeito fotocatalítico (figura 3).



Figura 3 – Ilustração da mistura de corantes azul de metileno, alaranjado de metila e cristal de violeta em diferentes concentrações

Adicionalmente, o tratamento dos dados obtidos por espectrofotometria UV-Vis conduziu às curvas mostradas nas figuras 4 e 5. Observa-se que, na fotocatalise da mistura dos corantes, a amostra FeTiC 1:1:1 mostrou maior eficiência, sendo significativamente superior à amostra FeTi1:2 e à fotólise (figura 4). Esse efeito evidencia que a combinação com material carbonáceo beneficia o potencial fotocatalítico de semicondutores baseados em óxido de ferro e dióxido de titânio.

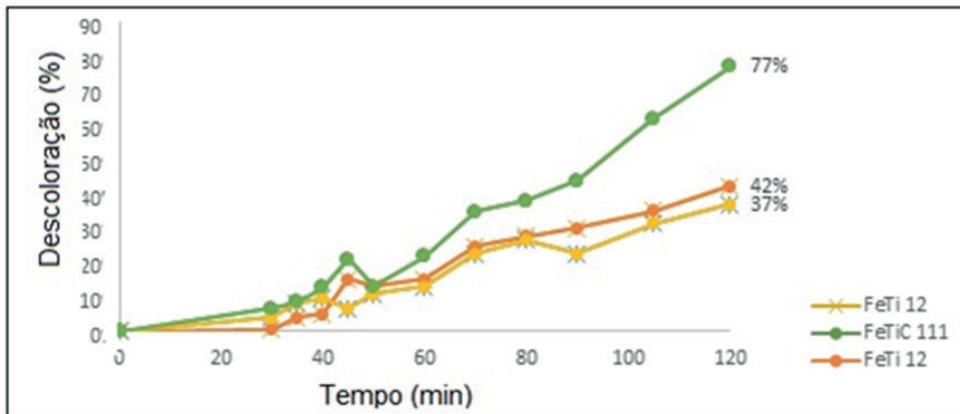


Figura 4- Descoloração em função do tempo na fotocatalise da mistura de corantes azul de metileno, alaranjado de metila e cristal de violeta

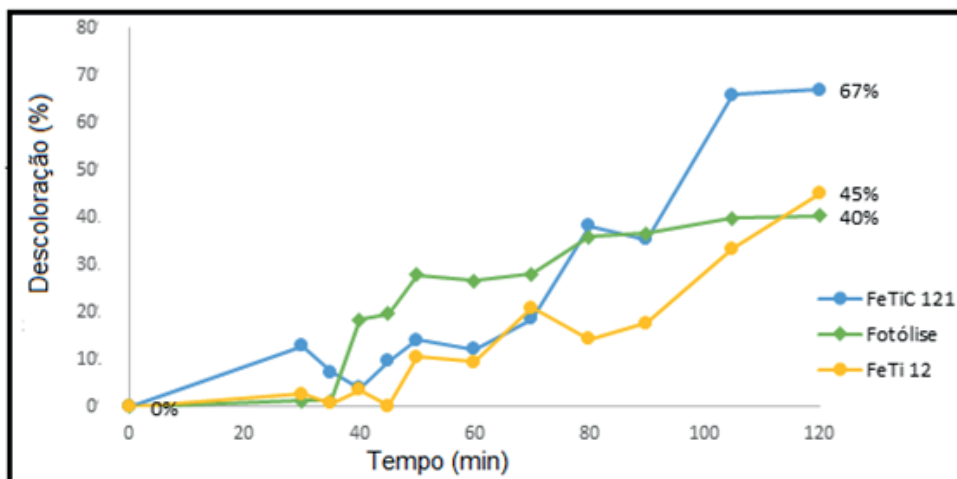


Figura 5 - Descoloração em função do tempo na fotocatalise do resíduo acumulado da mistura de corantes azul de metileno, alaranjado de metila e cristal de violeta

Ao empregar a fotocatalise no tratamento do resíduo da mistura de corantes (concentração desconhecida), o desempenho da amostra FeTiC 1:2:1 foi significativamente superior ao da fotólise e ao da amostra FeTi1/2 (figura 5), demonstrando, mais uma vez, o efeito benéfico do material carbonáceo. Efeito benéfico do material carbonáceo, oriundo da semente de manga, em semicondutor baseado em dióxido de titânio foi observado no trabalho de Ramos e colaboradores (2021) na fotocatalise de uma solução de crista de violeta.

Algumas amostras avaliadas não apresentaram resultados satisfatórios em nenhum sistema.

Análise da participação dos bolsistas de Iniciação Científica

No que se refere à participação dos bolsistas de iniciação científica a vivência na pesquisa, na temática fotocatalise heterogênea, promoveu distintas considerações de acordo com a percepção de cada um.

Os bolsistas mais experientes foram os principais responsáveis pela aquisição dos dados experimentais, tratamento e discussão dos resultados com os demais autores da presente publicação.

A discente voluntária, interagindo com os bolsistas de iniciação científica, mais experientes, construiu curvas de calibração baseadas na Lei de Lambert-Beer e relatou ter entendido que a referida curva estabelece uma relação entre a absorvância e a concentração de uma dada solução, sendo necessária para o tratamento dos dados obtidos nos experimentos de fotocatalise. A voluntária ressaltou a importância da compreensão do procedimento, bem como da vivência com os colegas mais experientes na iniciação científica, assim como com mestrandos e doutorandos, para a aplicação de determinados conteúdos na pesquisa, mesmo sem ter cursado as disciplinas relacionadas, sendo um estímulo para prosseguir no caminho da investigação científica.

O bolsista IC Júnior, com percepção maior nas questões ambientais em comparação aos conhecimentos de química, considerou que os resultados obtidos na fotocatalise sugerem uma abordagem eficiente para o tratamento de efluentes, contribuindo para a preservação do meio ambiente e o cumprimento de regulamentações ambientais. Quando foi estimulado a elaborar e apresentar um seminário a partir da experiência na iniciação científica, o bolsista abordou aspectos como eutrofização, fotossíntese, e impacto da contaminação de águas naturais na flora e na fauna aquáticas, destacando a importância da fotocatalise na remediação ambiental.

Esses aspectos, relacionados à percepção dos jovens pesquisadores que realizaram procedimentos e experimentos de fotocatalise heterogênea, estão em concordância com os estudos de He e colaboradores (2023). De acordo com os autores os processos fotocatalíticos envolvem conteúdos variados, possibilitando aos estudantes em formação uma abrangência para além da ciência experimental, baseada em conhecimentos e habilidades, permeando também atitudes e valores.

Oficina de fotocatalise aplicada para estudantes do Ensino Médio

Os discentes participaram também do aprimoramento e da aplicação de uma oficina ofertada a estudantes do Ensino Médio (figura 6)



Figura 6- Ilustração de uma oficina aplicada a estudantes do Ensino Médio

Na oportunidade, foi possível compartilhar os conhecimentos adquiridos, apresentando a problemática e uma possível solução, contribuindo com a educação ambiental, aproveitando a experiência prévia do grupo de pesquisa (REBOUÇAS et al., 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram aplicados, na fotocatalise heterogênea do azul de metileno, semicondutores baseados em óxido de ferro, puro ou formando compósito com material carbonáceo, oriundo da semente de goiaba, obtidos por precipitação ou combustão em solução. Os materiais apresentaram bons desempenhos nos testes fotocatalíticos, tendo como destaque o catalisador baseado em óxido de ferro e material carbonáceo oriundo da semente (FCGP2), obtido por precipitação com hidróxido de potássio, com maior descoloração do corante em estudo, alcançando 92%, após 120 minutos de teste. As demais amostras obtidas por precipitação também são promissoras, assim como os materiais sintetizados por combustão em solução com descolorações maiores que 85%, sendo significativamente superior à fotólise que descoloriu 58% em 120 minutos de teste.

Na fotocatalise da mistura de corantes (100 mg L⁻¹) pode-se inferir que o material carbonáceo beneficia a atividade fotocatalítica dos semicondutores, o mesmo ocorrendo com o resíduo (concentração desconhecida) atingindo descolorações 77 e 67%, respectivamente, superiores às outras amostras e à fotólise (aproximadamente 40%).

Os pesquisadores iniciantes participaram também do aprimoramento e aplicação de uma oficina de fotocatalise ofertada, pelo grupo de pesquisa, a estudantes do ensino médio, compartilhando conhecimentos e contribuindo com a educação ambiental.

De um modo geral as investigações proporcionaram aos bolsistas de IC aprofundar os conhecimentos na área de tratamento de efluentes, destacando a fotocatalise heterogênea, assim como ampliar as habilidades e competências para pesquisa científica. Já a voluntária, no início do curso de graduação, e o bolsista ICJúnior tiveram oportunidade de conhecer técnicas e procedimentos de laboratório aplicados nas pesquisas, não experimentados anteriormente.

Pode-se inferir que a iniciação científica, tendo como tema da pesquisa a fotocatalise heterogênea, estimula o jovem pesquisador tanto na busca pelo conhecimento químico mais avançado, quanto nas pesquisas que possam contribuir na solução de problemas ambientais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pelas bolsas concedidas, Ao Grupo de Estudos em Materiais e Catálise e ao Programa de Pós-Graduação em Química Aplicada pela infraestrutura e financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

CAMPOS, J. M. P.; SILVEIRA, E. F.; PÉRICO, E. **Análise da sustentabilidade no Rio Grande do Sul: uma aplicação espaço temporal do barômetro da sustentabilidade**. Revista Ibero Americana 11de Ciências Ambientais, v.12, n.1, p.471-483, 2021.

HE, Y.; CHEN, M.; WANG, J.; ZHAO, G.; HAN, S.; XU, Y.; CHEN, Y.; WANG, C.; WANG, J. **A Comprehensive Chemistry Experiment for Undergraduates to Investigate the Photodegradation of Organic Dyes by ZnO/GO Nanocomposite**. J. Chem. Educ., v.100, n. 9, p. 3556–3563, 2023.

LOPES, J. Q.; CARDEAL, R. A.; ARAÚJO, R. S.; ASSUNÇÃO, J. C. C. **Application of titanium dioxide as photocatalyst in diuron degradation: Operational variables evaluation and mechanistic study**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 1, p. 61–68, 2021.

NOGUEIRA, R. F. P.; JARDIM, W. F. **A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental**. Química Nova, v. 21, 1998.

PAVANI, N. M.; MACENA, D. A.; TAMASHIRO, J. R.; SILVA, L. H. P.; ALMEIDA, M. P. B.; KINOSHITA, A. M. O. **Nanopartículas de Dióxido de Titânio e Óxido de Zinco: Síntese, Caracterização e Ação Fotocatalítica em Efluentes Industriais**. Colloquium exactarum, v. 14, n. 1, p. 185–192, 5. 2022.

PERTUZ, L. S. C.; PÉREZ-GRISALES; M. S.; CASTRILLÓN-TOBÓN; M.; LONDOÑO, G. A. C.; GARCÍA, G. T.; MARTÍNEZ, A. L. M. **Decolorization of Reactive Black 5 Dye by Heterogeneous Photocatalysis with TiO_2/UV** . Revista Colombiana de Química, v. 47, n. 2, p. 36–44, 2018.

RAMOS, L. T. SANTOS; L. M.; MACHADO, A. E. H.; SOUZA, M. O. G. **Síntese, caracterização e atividade fotocatalítica de um compósito à base TiO_2 e carbono ativo preparado a partir do caroço de manga**. Scientia Plena, v. 17, n. 7, p. 1-16, 2021.

REBOUÇAS, L. REIS, V. S. PENHA A. F. SOUZA, M. O. G.: **Relato de uma Oficina de Fotocatálise como Forma de Conscientização Ambiental Aproximação entre Ensino Superior Educação Básica**. In: A diversidade de Debates na Pesquisa em Química. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, Ebook, p.208-218, 2020. ISBN 978-85-7247-906-6.

RODRIGUES, I. A.; SANTOS, A. S.; REIS, V. S.; SANTOS, M. S. SOUZA, M. O. G.; SOUZA, A. O. **Reaproveitamento de Resíduos das Agroindústrias para a Produção de Novos Materiais**: In: O Conhecimento Químico a Serviço do Desenvolvimento Sustentável, Científico e Tecnológico. Ponta Grossa, Paraná: Editora Atenas. Ebook, p.80- 93, 2020. ISBN 978-65-5706-563-1.

SOUZA, E. F.; PORTO, M. B.; POMPERMAYER, M. B.; BERGAMO, M. H. S. **Comparação dos processos de síntese e do desempenho de fotocatalisadores para a degradação do corante rodamina B**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 23, n. 4, p. 791–799, 2018.