

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS LAGOA DO SINO
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA

DANIELLE MENDES DA SILVA

**Degradação do Corante Eritrosina B Através de
Fotólise e Fotocatálise**

BURI - SP
2025

DANIELLE MENDES DA SILVA

Degradação do Corante Eritrosina B Através de Fotólise e Fotocatálise

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de São Carlos, para obtenção do título de bacharel em engenharia ambiental.


Orientador: Prof. Dr. Fernando Campanhã Vicentini

BURI-SP
2025


UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Folha de Aprovação


Assinatura dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Trabalho de Conclusão de Curso da candidata Danielle Mendes da Silva, realizada em 23/06/2025:

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDO CAMPANHA VICENTINI**
Data: 23/06/2025 20:10:50-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Fernando Campanhã Vicentini – Orientador(a)
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 **BEATRIZ CRUZ GONZALEZ**
Data: 23/06/2025 14:56:57-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Beatriz Cruz Gonzalez
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Documento assinado digitalmente
 **GABRIEL LUIZ CRUZ DE SOUZA**
Data: 23/06/2025 16:02:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Gabriel Luiz Cruz de Souza
Centro de Ciências da Natureza – UFSCar – Campus Lagoa do Sino.

Da Silva, Danielle Mendes

Degradação do Corante Eritrosina B Através de Fotólise e Fotocatálise / Danielle Mendes Da Silva -- 2025. 65f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino, Buri

Orientador (a): Prof. Dr. Fernando Campanhã Vicentini

Banca Examinadora: Prof. Dr. Gabriel Luiz Cruz de Souza, Profa Dra. Beatriz Cruz Gonzalez

Bibliografia

1. Processos Oxidativos Avançados. 2. Eritrosina B. I. Da Silva, Danielle Mendes. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

AGRADECIMENTOS

Sou imensamente grata aos meus pais, minha avó e meus irmãos, que sempre me apoiaram. Um agradecimento especial à minha amiga Carolina Saran, que auxiliou na execução deste projeto, e ao meu namorado, Yuri Oliveira, que acompanhou cada etapa da minha jornada acadêmica. Yuri foi meu ponto de apoio durante toda a graduação, e sou grata por todo o amor, paciência e companheirismo que ele me ofereceu ao longo desses anos.

Também agradeço de coração às pessoas que tornaram minha vida universitária mais leve e divertida: minhas amigas Beatriz Munari, Isabela Félix e Carolina Saran. Aos professores que me guiaram e incentivaram, Fernando Campanhã Vicentini, meu orientador, por todas as dicas e suporte na elaboração deste trabalho, e Claudia Rotta, minha ex-orientadora, por todas as conversas, ensinamentos e conselhos ao longo da graduação.

Por fim, agradeço ao CNPq pelo apoio financeiro para a execução deste projeto, ao Centro de Ciências da Natureza do campus Lagoa do Sino (CCN) e aos professores responsáveis pelo LEmONS (Laboratório de Eletroquímica, Processos Oxidativos Avançados, Nanomateriais e Sensores), equipe ao qual fiz parte e laboratório utilizado para execução dos experimentos.

RESUMO

Anualmente são liberadas cerca de 700.000 toneladas de corantes industriais no ambiente, muitos destes tóxicos e genotóxicos, que exige tratamentos avançados. Os Processos Oxidativos Avançados (POAs) surgem como uma alternativa para degradação eficiente por espécies reativas de oxigênio, estes processos podem ser otimizados por óxidos catalisadores como o TiO_2 . Dessa forma, este trabalho teve como principal intuito analisar a eficiência da degradação do corante Eritrosina B, com a aplicação de processos oxidativos avançados, fotólise e fotocatalise com a adição de dióxido de titânio, e verificar os efeitos perante a modificação de alguns parâmetros, sendo eles pH, tipo de catalisador (diferentes estruturas cristalinas) e concentração de catalisador. Os resultados demonstraram que a Eritrosina B apresenta satisfatória degradação (máximo de absorção em 526,5 nm) durante a fotólise e fotocatalise, apresentando eficiência de degradação de 39,8% após 5h de fotólise e de 48,3% após o período de 2h e 15 minutos na fotocatalise. Os parâmetros otimizados foram: TiO_2 (P25 – 80%/20% anatase/rutilo); concentração de TiO_2 1,0 g/L e pH do meio igual a 7,0. No cenário otimizado a constante cinética foi de $1,51 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ para fotólise e de $4,91 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ na fotocatalise.

Palavras-chave: Dióxido de Titânio; Eritrosina B; Fotocatalise; Fotólise; Processos Oxidativos Avançados.

ABSTRACT

Approximately 700,000 tons of industrial dyes are released into the environment annually, many of which are toxic and genotoxic, requiring advanced treatments. Advanced Oxidative Processes (AOPs) emerge as an alternative for efficient manipulation by reactive oxygen species; these processes can be optimized by specific oxides such as TiO₂. Thus, the main objective of this study was to analyze the efficiency of the manipulation of the dye Erythrosine B, with the application of AOPs, photolysis and photocatalysis with the addition of titanium dioxide, and to verify the effects related to the modification of some parameters, namely pH, type of catalyst (different crystal structures) and concentration of catalyst. The results showed that Erythrosine B presents satisfactory manipulation (maximum absorption at 526.5 nm) during photolysis and photocatalysis, presenting manipulation efficiency of 39.8% after 5h of photolysis and 48.3% after the period of 2h and 15 minutes in photocatalysis. The optimized settings were: TiO₂ (P25 – 80%/20% anatase/rutile); TiO₂ concentration 1.0 g/L and medium pH equal to 7.0. In the optimized scenario, the kinetic constant was $1.51 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ for photolysis and $4.91 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ in photocatalysis.

Keywords: Titanium Dioxide; Erythrosine B; Photocatalysis; Photolysis; Advanced Oxidative Processes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Divisão dos métodos homogêneos e heterogêneos	16
Figura 2 Principais técnicas classificadas como processos oxidativos avançados	18
Figura 3 Representação do processo de degradação de poluentes com a adição de catalisador	19
Figura 4 Estruturas cristalinas dos polimorfos TiO ₂ rutilo (tetragonal), brookita (ortorrômbico) e anatase (tetragonal)	21
Figura 5 Representação do processo de degradação de poluentes com a adição de Dióxido de Titânio (TiO ₂)	23
Figura 6 Estrutura química da Eritrosina B	24
Figura 7 Sais utilizados para preparo das soluções tampão pH 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0	27
Figura 8 Procedimento experimental de preparo das soluções padrão de Eritrosina B em solução tampão fosfato 0,2 mol/L: a) pesagem do corante; b) transferência do corante para o balão e adição de tampão fosfato; c) homogeneização da solução; d) transferência da solução para o béquer; e) medida da absorvância em t ₀ ; f) inserção do béquer no fotoreator.	29
Figura 9 Procedimento experimental de preparo das soluções padrão de Eritrosina B (0,01 g/L) com catalisador TiO ₂ , em solução tampão fosfato 0,2 mol/L : a) adição do catalisador na solução padrão; b) solução em agitação magnética; c) tubo de ensaio após centrifugação com a presença de catalisador decantado; d) transferência de alíquota para a cubeta; e) cubeta com solução sem fase sobrenadante; f) inserção da cubeta no espectrofotômetro.	31
Figura 10 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254 nm em água destilada. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.	33
Figura 11 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254nm em solução tampão fosfato 0,2 mol/L: a) pH 7,0 e b) pH 8,0. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.	34
Figura 12 Variação das concentrações de Eritrosina B em relação ao tempo de exposição à radiação UV e taxa de degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotólise em soluções tampão fosfato 0,2 mol/L em pH 7,0 e pH 8,0.	35
Figura 13 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotólise em solução tampão 0,2 mol/L em pHs 7,0 e 8,0.	36
Figura 14 Comparação entre a coloração do primeiro e último ponto coletado durante o experimento de fotólise na solução tampão pH 7.	37
Figura 15 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de 10,0 g/L de TiO ₂ e solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 para os diferentes estruturas cristalinas: a) mistura de anatase, b) mistura rutilo e c) P25. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.	38
Figura 16 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação do tempo de exposição à radiação UV e de degradação do corante para a fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 com adição de 10,0 g/L de TiO ₂ utilizando ■) anatase, ●)mistura de rutilo e anatase e ▲)P25.	39
Figura 17 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 com adição de 10,0 g/L de TiO ₂ utilizando ■) anatase, ●)mistura de rutilo e anatase e ▲)P25.	40
Figura 18 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO ₂ P25 (1,0 g/L) e solução tampão fosfato 0,2 mol/L a) pH 5,0; b) 6,0; c) pH	

7,0 e d) pH 8,0. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.	42
Figura 19 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV em presença de TiO ₂ P25 (1,0 g/L) e taxa de degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pHs 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0.....	43
Figura 20 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise com adição de 1,0 g/L de TiO ₂ P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L em ■) pH 5,0; ■) pH 6,0; ■) pH 7,0 e ■) pH 8,0.....	44
Figura 21 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO ₂ P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 7,0 em diferentes concentrações de catalisador a) 0,1 g/L; b) 1,0 g/L; c) 10,0 g/L. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.	46
Figura 22 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO ₂ P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 em diferentes concentração de catalisador a) 0,1 g/L; b) 1,0 g/L; c) 10,0 g/L. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.	47
Figura 23 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV e degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pH 7,0. Concentração de TiO ₂ P25 ■) 0,1 g/L; ●) 1,0 g/L e ▲) 10,0 g/L.....	48
Figura 24 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV e degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pH 8,0. Concentração de TiO ₂ P25 ■) 0,1 g/L; ●) 1,0 g/L e ▲) 10,0 g/L.....	48
Figura 25 Relação entre a eficiência de degradação (na fotocatalise) do corante Eritrosina B (0,01 g/L) em relação às concentrações de TiO ₂ P25: 0,1; 1,0 e 10,0 g/L, em pH 7,0 e 8,0.	50
Figura 26 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 7,0. Concentração de TiO ₂ P25 ■) 0,1 g/L; ■) 1,0 g/L e ■) 10,0 g/L.....	51
Figura 27 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0. Concentração de TiO ₂ P25 ■) 0,1 g/L; ■) 1,0 g/L e ■) 10,0 g/L.....	51
Figura 28 Soluções utilizadas para construção da curva de calibração de Eritrosina B nas concentrações 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 g/L.	53
Figura 29 Eritrosina B nas concentrações 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 g/L. a) Espectros UV-Vis de Eritrosina B e b) Curva de calibração.	54
Figura 30 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254 nm + 185 nm em água destilada. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Processos e Objetivos das etapas de tratamento de esgotos	15
Tabela 2 Vantagens e desvantagens da aplicação de Processos Oxidativos Avançados para tratamento de águas residuárias	17
Tabela 3 Classe química, pka, máxima absorção e solubilidade em solução aquosa para o corante Eritrosina B (T = 25°C)	25
Tabela 4 Massas de NaH ₂ PO ₄ e Na ₂ HPO ₄ para preparo de 500 mL de solução tampão fosfato com força iônica de 0,2 mol/L.....	28
Tabela 5 Concentrações preparadas da solução de Eritrosina B e respectivas absorbâncias obtidas para a construção da curva de calibração.	52
Tabela 6 Principais parâmetros otimizados para a degradação de Eritrosina B comparados com a literatura.	54
Tabela 7 Comparação entre os resultados de eficiência de degradação da Eritrosina B utilizando diferentes fontes de irradiação UV e o mesmo período de exposição.	56

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Tratamento de águas residuárias	14
2.2 Processos Oxidativos Avançados.....	15
2.3 Fotólise e Fotocatálise.....	18
2.4 Dióxido de Titânio (TiO ₂).....	20
2.5 Eritrosina B.....	23
3 OBJETIVOS	25
3.1 Objetivos Gerais	25
3.2 Objetivos específicos.....	25
4 MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1 Reagentes e equipamentos	26
4.2 Preparo das soluções tampão	27
4.3 Preparo das soluções padrão de Eritrosina B.....	28
4.4 Fotólise.....	29
4.5 Fotocatálise	29
4.6 Construção da curva de calibração.....	31
4.7 Tratamento de Dados	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 Fotólise.....	32
5.2 Fotocatálise	37
5.2.1 Variação do tipo de catalisador	37
5.2.2 Variação de Potencial Hidrogeniônico (pH).....	41
5.2.3 Variação da concentração de catalisador.....	45
5.3 Curva de Calibração.....	52
5.4 Comparação dos resultados	54
5.5 Perspectivas Futuras	55
6 CONCLUSÕES	57
7. REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Os corantes desempenham um importante papel na coloração de produtos, tornando-os mais atraentes para os consumidores. Essas substâncias são amplamente utilizadas em diversas indústrias, incluindo têxtil, farmacêutica, de curtume, petrolífera, cosmética e especialmente na alimentícia. Essa classe de compostos é aplicada em larga escala na produção industrial, envolvendo processos complexos que podem incluir até 500 etapas de síntese. No entanto, devido a perdas comuns durante esses processos, estima-se que, cerca de 700.000 toneladas sejam liberadas, sem tratamento, anualmente na natureza (Vaiano e Marco, 2023; Kanwal et al., 2023 e Zanoni e Yamanaka, 2016). Cabe ainda pontuar, que a indústria têxtil é a principal responsável pela contaminação por corantes, o que ocorre pela fraca ligação/atração entre o corante e as fibras (Kanwal et al., 2023).

De acordo com alguns estudos, a maior parte das águas servidas, resíduos líquidos advindos de sistemas domésticos ou industriais que necessitam de tratamento, são liberados nos cursos da água sem nenhum tratamento prévio, causando impactos para ecossistemas e saúde humana. Os corantes podem interferir na qualidade das águas fluviais uma vez que alteram um dos principais parâmetros físicos de qualidade da água, a cor, afetando a transparência da mesma, barrando a passagem de luz na água, e conseqüentemente interfere no desenvolvimento da biota aquática (Lin et al., 2023; Pereira e Madalena, 2012; Brown, 1987). Além disso, moléculas de corante normalmente contêm grupos de amina, anéis aromáticos, grupos azo e outros componentes que dificultam o tratamento por métodos convencionais (Li, Li e Zhou, 2020).

Ademais, por mais que os corantes em sua maioria sejam substâncias autorizadas por órgãos governamentais, esses compostos, principalmente os sintéticos, podem trazer efeitos adversos a saúde a curto e longo prazo. Os efeitos nocivos podem variar de acordo com sua composição, concentração e via de exposição (Miller et al., 2022; Anástacio et al., 2016; Zanoni e Yamanaka, 2016). Para a legislação Brasileira os corantes podem ser separados em cinco grandes classes: corante orgânico natural (C.I); corante orgânico sintético (C.II); corante orgânico sintético idêntico ao natural (C.III); corante inorgânico (C.IV); corante caramelo (C.V). Esses corantes também apresentam propriedades físico-químicas diferentes e

essenciais para a fixação nos diferentes tipos de fibras naturais e sintéticas. Dentre os corantes sintéticos autorizados no Brasil estão o amarelo crepúsculo, tartrazina, azul brilhante, indigotina, bordeaux S ou amaranto, ponceau 4R, vermelho 40 e eritrosina (Zanoni e Yamanaka, 2016; Marmitt, Pirotta e Stülp, 2010).

A Eritrosina B, também conhecida como Tetraiodofluoresceína, Red 03 ou E127, trata-se de um corante sintético classificado como aditivo alimentar, no qual a sua principal função é fornecer cor ao produto (Who, 2024).

Uma excelente alternativa para o tratamento desses compostos seria com o emprego de processos oxidativos avançados (POAs). De acordo com Lecompte (2020), os POAs são alternativas mais interessantes para o tratamento de poluentes em águas residuárias. Essas técnicas baseiam-se na geração de radicais livres hidroxila $[OH^-]$ e radicais sulfato $[SO_4^-]$, para oxidação de poluentes (Fioreze, 2014). Esse tipo de procedimento é mais indicado para o tratamento de efluentes industriais uma vez que, não transferem poluentes de uma fase para outra ou produzem residuais perigosos, e podem ocorrer a mineralização completa dos poluentes (Kumari e Kumar, 2023; Benvenuti, 2018).

Dentre os POAs está também a fotólise, em que o mecanismo da reação de degradação por luz ocorre através da excitação de elétrons da banda de valência para a banda de condução, gerando um par de elétrons-lacuna. Dessa forma, esse elétron-lacuna atua como o agente oxidante, oxidando a água para gerar o radical hidroxila que degrada os poluentes, ou ele oxida diretamente o poluente. Estudos anteriores indicam que presença de um catalisador semicondutor, como o óxido de zinco ou dióxido de titânio, aumenta a taxa da degradação e assim é possível obter uma melhor eficiência de degradação. (Kumari e Kumar, 2023; Viswanathan, 2017).

O dióxido de titânio (TiO_2) também é um corante, muito utilizado na fabricação de alimentos, tintas, plásticos, cerâmicas e cosméticos e apresenta resultados satisfatórios em seu uso como catalisador em reações de fotodegradação. Destaca-se que a fase cristalina anatase é a que apresenta melhores resultados agindo como fotocatalisador, o que se deve a fatores como modo de absorção de luz, densidade e superfície de contato. No entanto os resultados podem variar dependendo das condições do ambiente da reação (Eddy et al., 2023; Zerjav et al., 2022).

Trabalhos anteriores com os de Brahim et al. (2021), Dana et al. (2020), Ghali et al. (2021), de Jain e Sikarwar (2010) e Pereira et al. (2013), apontam que a degradação da Eritrosina B apresenta bons resultados com a utilização de irradiação

ultravioleta em conjunto com a adição de catalisadores, como o óxido de zinco, óxido de ferro e dióxido de titânio sendo inclusive esse processo mais eficiente se comparado a degradação apenas por fotólise. Alguns autores como Gonda et al. (2017), Lohar et al. (2021), Kianipour et al. (2022) e Wang et al. (2022), destacam que a Eritrosina B, apresenta um alto potencial de absorção de luz, dessa forma também pode ser utilizada como fotossensibilizador e facilitar a degradação de outros compostos. Logo, analisando as bibliografias é possível apontar que o corante em questão tem uma excelente degradação sob efeito da fotólise e, a adição de catalisadores a solução contendo o corante Eritrosina B resulta em uma degradação mais eficiente sob ação da radiação UV.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Tratamento de águas residuárias

Os processos convencionais de tratamento de efluentes são amplamente utilizados e demonstram eficiência na remoção dos principais resíduos presentes na água. A metodologia convencional de tratamento envolve as etapas preliminar (remoção de sólidos grosseiros), primária (remoção de sólidos suspensos) e secundária (remoção de sólidos dissolvidos). No entanto, a capacidade desse processo em degradar compostos emergentes, como resíduos farmacêuticos, agrotóxicos, corantes e microplásticos, ainda é limitada. Além disso, a aplicação dessas metodologias pode gerar subprodutos químicos indesejáveis, os quais podem ser nocivos à saúde e persistentes no meio ambiente (Silva et al., 2023; Marqueea e Oliveira, 2022; Ribas e Silva, 2022).

A crescente necessidade por soluções sustentáveis e economicamente viáveis tem influenciado pesquisas voltadas para a otimização dos processos convencionais e o desenvolvimento de alternativas mais eficientes para a degradação de compostos persistentes (contaminantes emergentes). No entanto, para o tratamento de efluentes industriais, torna-se necessária a aplicação de metodologias complementares, como o tratamento terciário, especialmente no caso de corantes e contaminantes orgânicos persistentes (Marques e Ribeiro, 2024; Ribas e Silva, 2022). O objetivo de cada etapa de tratamento de efluente está descrito na Tabela 1.

Tabela 1 Processos e Objetivos das etapas de tratamento de esgotos

Etapa	Preliminar	Primário	Secundário	Terciário (Opcional)
Processos Aplicados	Grade, Desarenador e Medidor de vazão	Coagulação, fluoculação, flotação e sedimentação	Processos biológicos	Processos biológicos e físico-químicos avançados
Objetivos	Remoção de sólidos grosseiros, areia e óleos	Remoção de sólidos suspensos	Remoção de sólidos dissolvidos e matéria orgânica	Remoção de poluentes, organismos patogênicos e nutrientes

Fonte: Adaptado de Das chagas (2020)

Ademais, de acordo com Jiang et al. (2023) as estratégias aplicadas ao tratamento de efluentes podem ser divididas entre três grandes grupos, sendo esses: tratamentos físicos (processos mecânicos), químicos (processos que envolvem a adição de substâncias químicas) ou biológicos (processos que envolvem microrganismos).

O tratamento de corantes presentes em efluentes requer a aplicação de processos biológicos e físico-químicos avançados, caracterizando-se como tratamento terciário. Esses métodos podem ser empregados de forma isolada ou combinada, utilizando técnicas biológicas, físicas e químicas para uma remoção mais eficiente dos poluentes de interesse (Kumari e Kumar, 2023; Benvenuti, 2018).

Entre as abordagens mais eficientes, destacam-se os processos oxidativos avançados (POAs), que demonstram alta performance de degradação para contaminantes orgânicos presentes em efluentes. Esses processos envolvem a utilização de reagentes como peróxido de hidrogênio (H_2O_2), ozônio e radicais hidroxila, promovendo a decomposição dos poluentes em subprodutos de menor impacto ao meio ambiente e saúde (Kumari e Kumar, 2023 e Lecompte, 2020).

2.2 Processos Oxidativos Avançados

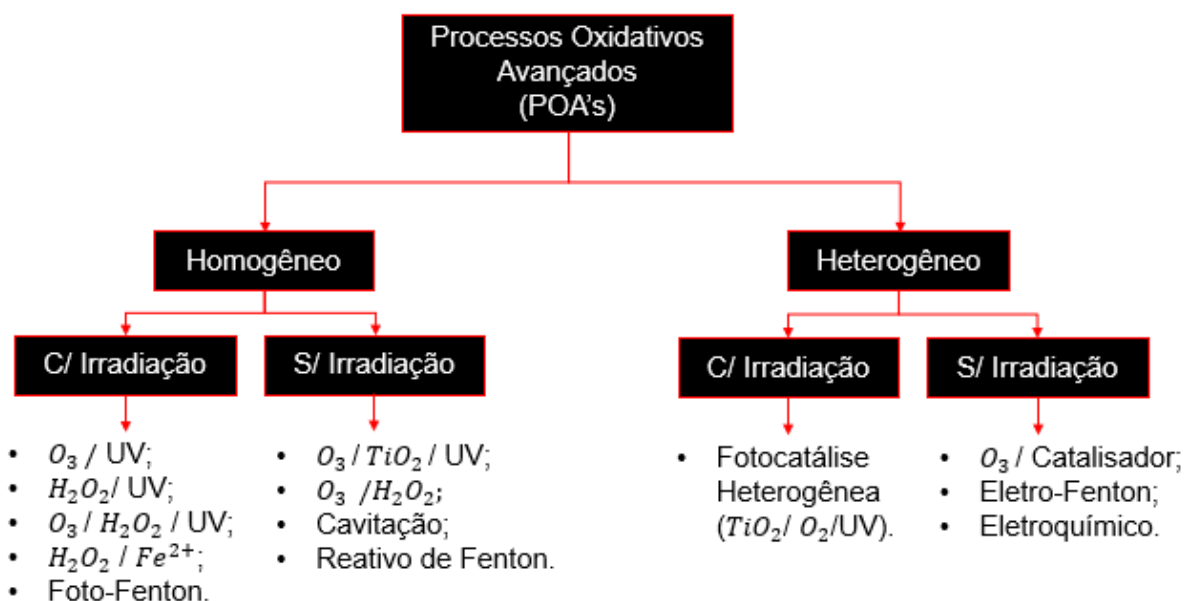
Os processos oxidativos avançados, objetivam a degradação de espécies orgânicas através da ação do radical hidroxila ($\bullet OH$). Esse possui alto teor oxidante, potencial de redução de aproximadamente 2,8V, apresentando assim o potencial para degradação de diversos poluentes em minutos, resultando na formação de radicais

orgânicos que reagem com o oxigênio, podendo gerar espécies inócuas (Jiang et al., 2023; Fioreze, 2014).

Cabe pontuar que os POAs normalmente transformam parcial ou totalmente os poluentes em espécies mais simples ou substâncias menos tóxicas e de fácil degradação por métodos convencionais. Entretanto, em alguns casos os produtos finais podem ser mais tóxicos e menos biodegradáveis do que os compostos iniciais (Pignatello et al., 2006).

Os POAs podem ser divididos entre processos homogêneos e heterogêneos, com ou sem a aplicação de irradiação. Os sistemas heterogêneos se diferenciam dos homogêneos, pois utilizam catalisadores, em especial óxido metálicos de baixa solubilidade, para acelerar o processo de degradação. Um fluxograma resumindo os processos, baseado nos trabalhos de Santiago et al. (2024); Kumar e Kumari (2023); Ribeiro et al. (2017); Pignatello et al. (2006), é apresentado na Figura 1, abaixo.

Figura 1 Divisão dos métodos homogêneos e heterogêneos



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Tabela 2, exibida abaixo, constam as vantagens e desvantagens da utilização de POAs de acordo com as revisões bibliográficas de Kanwal et al. (2023), Araújo et al. (2016) e Fioreze, Santos e Schmachtenberg (2014).

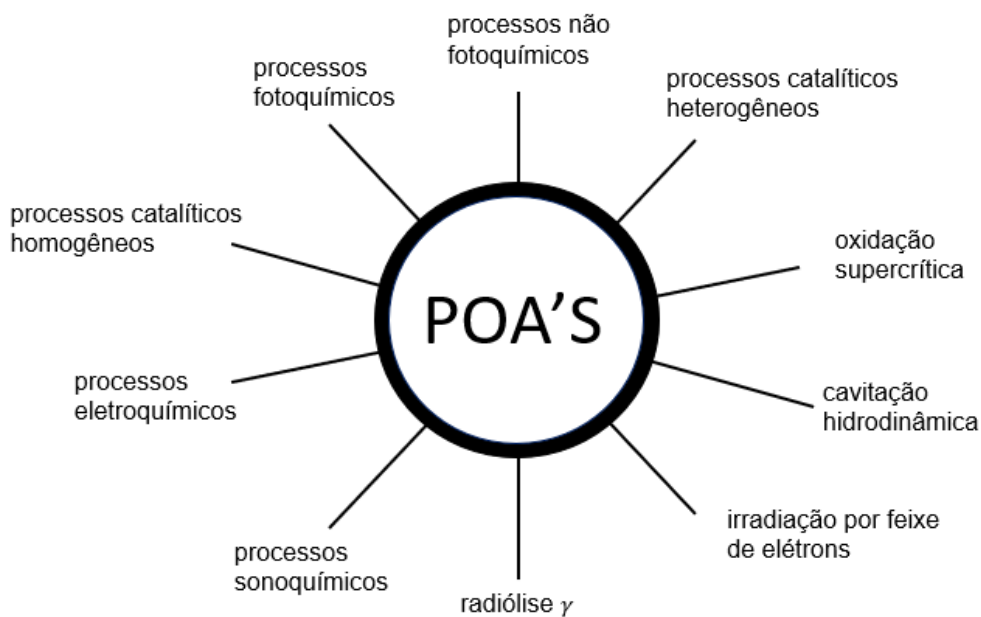
Tabela 2 Vantagens e desvantagens da aplicação de Processos Oxidativos Avançados para tratamento de águas residuárias

Número	Vantagem	Desvantagem
1	Alta eficiência na degradação de poluentes orgânicos e inorgânicos	Alto custo operacional (consumo de reagentes e energia)
2	Capacidade de mineralizar compostos tóxicos em produtos menos nocivos	Necessidade de controle rigoroso para evitar subprodutos tóxicos ou indesejáveis
3	Aplicação em diversos tipos de efluentes industriais e urbanos	Pode gerar resíduos secundários que exigem tratamento adicional
4	Processo rápido devido à alta reatividade dos $\bullet\text{OH}$	Dependência de condições específicas, como pH e temperatura do meio
5	Possibilidade de combinação com outros métodos de tratamento	Complexidade na implementação em larga escala

Fonte: Autoria Própria, 2025

É importante destacar que, de acordo com os trabalhos analisados, o elevado consumo de energia elétrica, e conseqüentemente o alto custo, representa a principal desvantagem na aplicação dos POAs. Contudo, o uso de energia solar, o emprego de catalisadores (especialmente aqueles de baixo custo) e a integração com outros processos de tratamento contribuem para tornar a utilização dos POAs no tratamento de efluentes menos onerosa. Na Figura 2, estão descritas as técnicas classificadas como POAs.

Figura 2 Principais técnicas classificadas como processos oxidativos avançados



Fonte: Adaptado de USP [s.d], 2025

2.3 Fotólise e Fotocatálise

A fotólise é um processo fotoquímico no qual as moléculas de um determinado composto são dissociadas pela ação da radiação solar ou ultravioleta (UV), com comprimento de onda do espectro eletromagnético compreendido entre 200 e 400 nm. Esse fenômeno ocorre sem a adição de agentes catalisadores e caracteriza-se como um processo homogêneo (Cao et al., 2023; Costa et al., 2013; Michael et al., 2012).

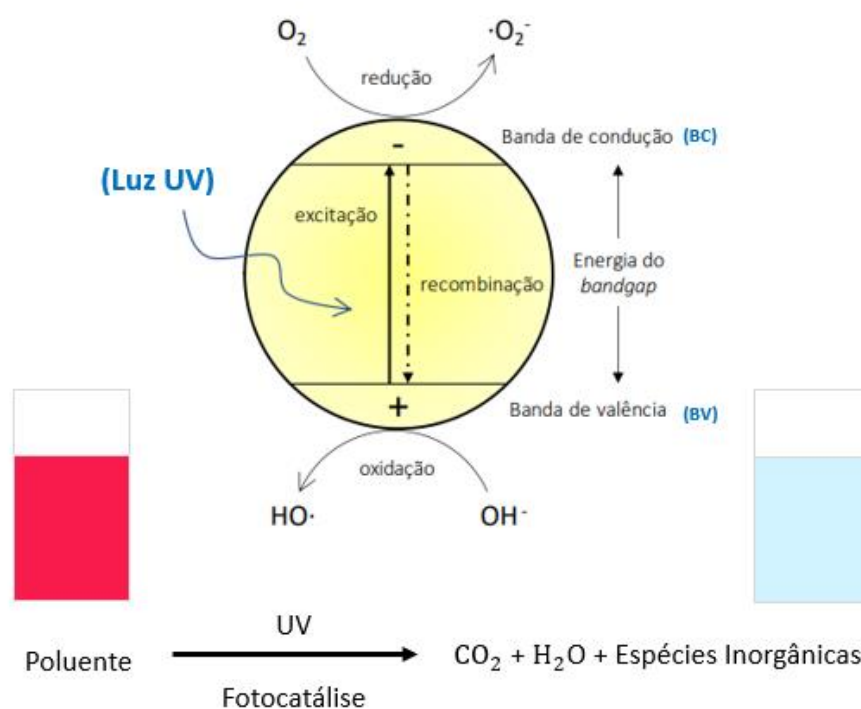
O processo de fotólise pode ser caracterizado como um método direto ou indireto de degradação. Nos processos diretos as moléculas do contaminante absorvem diretamente a energia da luz incidente, sem a necessidade de intermediários. Já nos métodos indiretos, a luz interage inicialmente com uma substância intermediária, e esta promoverá a reação/degradação, podendo ser um sensibilizador ou radical livre (Khan et al., 2024; Chagas, 2022; Keen et al., 2013; Michael et al., 2012).

Já o processo fotocatalítico aplicado ao tratamento de águas residuais é um processo heterogêneo e indireto, que utiliza diferentes semicondutores sólidos, como óxidos e sulfetos. O processo fotocatalítico é visto como ecologicamente correto, uma vez que destrói os poluentes em vez de simplesmente transferi-los para outra fase. Ademais, não utilizam oxidantes potencialmente perigosos. Esse processo pode ser

realizado em condições naturais, com o uso de oxigênio atmosférico e luz solar e geralmente leva à mineralização completa de poluentes orgânicos em CO_2 e H_2O (Khan et al., 2024; Zangeneh et al., 2015).

A fotocatalise ocorre por meio da ativação de um semicondutor (catalisador) com radiação UV. Esse semicondutor possui bandas de valência (BV) e de condução (BC), separadas por uma região chamada "bandgap". Quando fótons com energia superior à do bandgap são absorvidos, um elétron é transferido da banda de valência para a banda de condução, deixando uma lacuna (h^+) na banda de valência. Essas lacunas apresentam potenciais significativamente positivos, entre 2,0 e 3,5 V em relação ao eletrodo de calomelano saturado, variando com o tipo de semicondutor e o pH. Esse potencial elevado é suficiente para produzir radicais hidroxila ($\cdot\text{OH}$) a partir de moléculas de água adsorvidas na superfície do semicondutor, que, por sua vez, podem oxidar contaminantes orgânicos (Eddy et al., 2023; Kumar e Kumari, 2023; Fioreze, dos Santos e Schmachtenberg, 2014). Na Figura 3, um fluxograma representa como ocorre o processo de degradação de poluentes por luz ultravioleta (UV), com a adição de catalisadores.

Figura 3 Representação do processo de degradação de poluentes com a adição de catalisador



Fonte: Adaptado de Santiago et al. (2024) e Di Paola et al., (2012)

O aumento na massa de catalisador pode causar um aumento no número de radicais hidroxila através do número de sítios ativos na superfície do catalisador. Em quantidades muito altas de catalisador, devido ao aumento da turbidez da solução, a eficiência da degradação é diminuída, uma vez que o composto sobrenadante bloqueia a passagem da luz (Mozia, 2010).

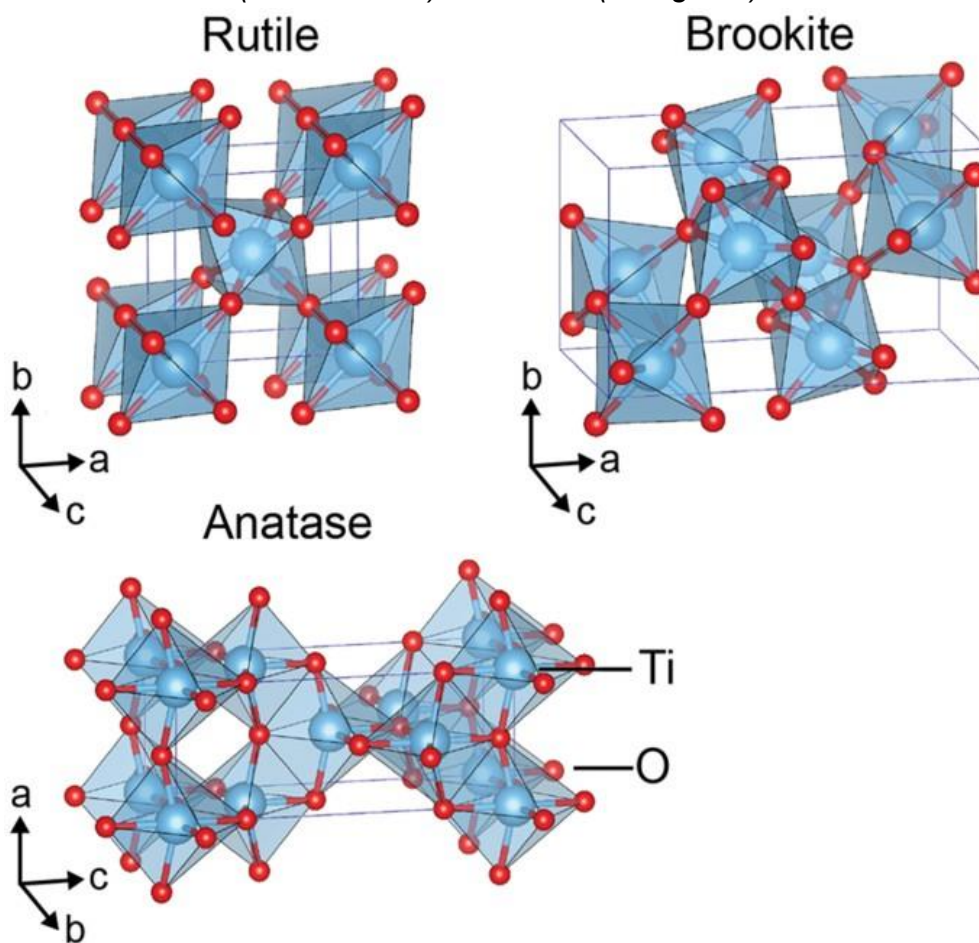
Além disso, é fundamental destacar que o potencial hidrogeniônico (pH) exerce um papel importante na fotocatalise, pois esse parâmetro influencia tanto a carga superficial do fotocatalisador quanto o tamanho dos agregados formados. Em ambientes ácidos ou alcalinos, a superfície do composto pode ser protonada ou desprotonada. Nessas condições, a superfície apresenta carga positiva em meio ácido e negativa em meio alcalino. É importante observar que o dióxido de titânio geralmente demonstra maior atividade oxidante em pH levemente ácido (3,0 e 6,5), no entanto o pH ideal vai depender das condições do meio. Entretanto cabe pontuar, um excesso de espécies H^+ em solução também pode reduzir a taxa de reação. Outros fatores que também interferem na eficiência da degradação incluem: utilização de oxigênio dissolvido, ozônio, peróxido de hidrogênio, concentração do contaminante, fluxo de ar, temperatura, intensidade da luz UV e tempo de irradiação (Santiago et al., 2024; Eddy et al., 2023; Gimeno et al., 2016 e Zangeneh et al., 2015).

2.4 Dióxido de Titânio (TiO_2)

O dióxido de titânio (TiO_2), com massa molecular de aproximadamente 79,866 g/mol, trata-se de um composto inorgânico, inodoro, insípido e insolúvel em água e solventes orgânicos, caracterizado fisicamente como um pó branco, formado por cristais tetragonais (Zerjav et al., 2022).

Dentre as principais formas cristalinas do TiO_2 estão a anatase, rutilo e brookita. Na Figura 4 é possível observar as estruturas cristalinas mais comuns do TiO_2 . As aplicações desse composto incluem fotocatalise, tintas, esterilização, cerâmica biomédica, cosméticos e produtos farmacêuticos (Navidpour et al., 2023; Eddy et al., 2023).

Figura 4 Estruturas cristalinas dos polimorfos TiO_2 rutilo (tetragonal), brookita (ortorrômbico) e anatase (tetragonal)



Fonte: Haggerty et al., 2017

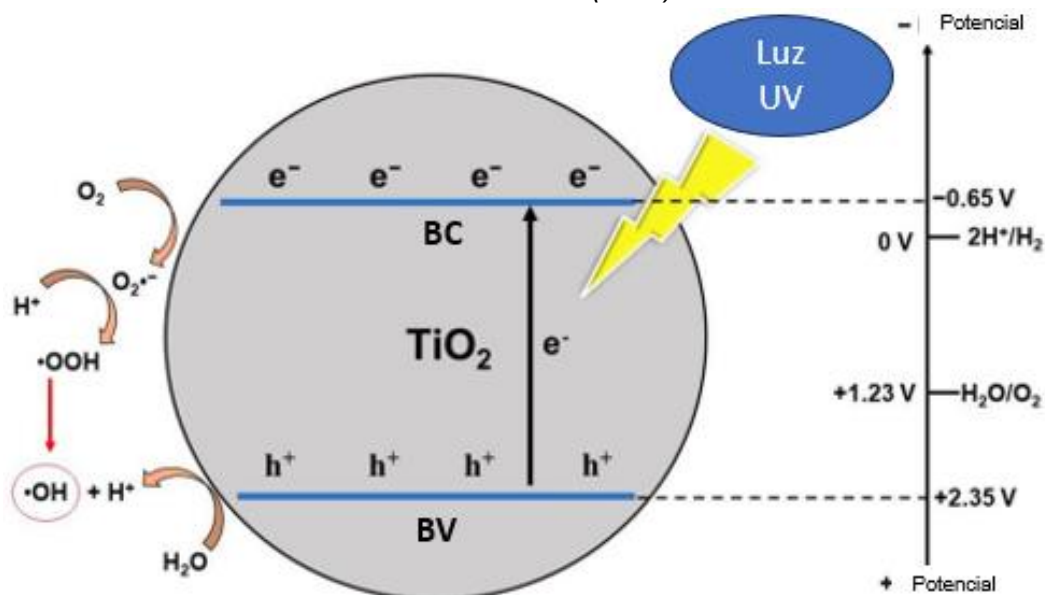
A utilização do TiO_2 como fotocatalisador em reações vem sendo abordada em diversos trabalhos, o que se deve ao fato do composto apresentar alta estabilidade química, alta atividade fotocatalítica para oxidar poluentes do ar e água e não apresentar toxicidade (Silveyra et al., 2005). No entanto de acordo com o estudo de Eddy et al. (2023), cada variante do catalisador exibe diferentes propriedades e consequentemente diferentes performances durante a degradação por fotocatalise.

Além disso o TiO_2 é considerado o catalisador mais eficiente, uma vez que apresenta fotoestabilidade, facilidade de obtenção, é bastante inerte biologicamente, baixa temperatura de operação, baixo consumo de energia, alta atividade fotocatalítica, potencial de banda plana adequada, estabilidade química relativamente alta, insolubilidade em água na maior parte das condições ambientais e prevenção da formação de subprodutos indesejáveis (Qi et al., 2024; Schneider, 2014; Zangeneh et al., 2014).

Sobre condições de luz e oxigênio adequadas, o TiO_2 utiliza os elétrons e lacunas fotogerados para degradar a maior parte dos poluentes orgânicos presentes na água e convertê-los em CO_2 e H_2O e outras substâncias inorgânicas (Li, Li e Zhou, 2020). O tempo de vida dos pares elétron-lacuna gerados pela ação da luz e a região de resposta à luz visível são essenciais para que o TiO_2 aumente a eficiência durante a degradação dos poluentes (Qin et al., 2020).

O mecanismo de fotocatalise com a adição de dióxido de Titânio consiste na excitação de elétrons da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), resultando elétrons-lacuna, essa lacuna atua como agente oxidante e oxida diretamente o poluente ou a água para gerar o radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$) para degradação dos poluentes de interesse. Em contrapartida, o elétron reduz o oxigênio adsorvido ao fotocatalisador. Entretanto, essa oxido-redução não ocorre de maneira simultânea e, portanto, devido a presença na BC, leva à recombinação de elétrons e lacunas positivas (Eddy et al., 2023; Kumar e Kumari, 2023). O fluxograma representativo do processo de degradação com a utilização de TiO_2 está representado na Figura 5.

Figura 5 Representação do processo de degradação de poluentes com a adição de Dióxido de Titânio (TiO_2)



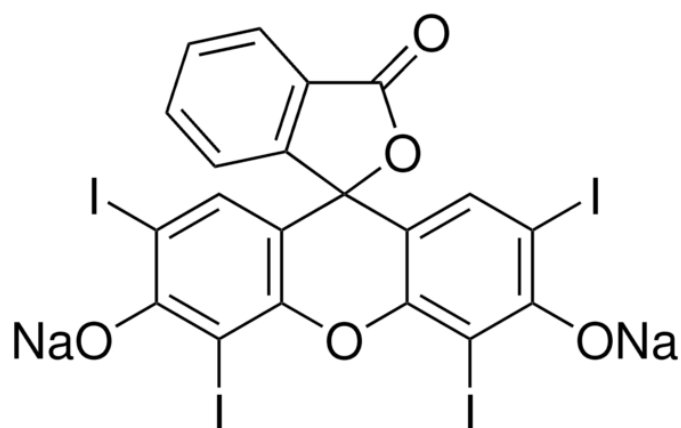
Fonte: Adaptado de Eddy et al., 2023

2.5 Eritrosina B

A Eritrosina B, sob fórmula molecular $\text{C}_{20}\text{H}_{14}\text{O}_5$, CAS 16423-68-0 e massa molecular de 322,3 g/mol, trata-se de um corante de coloração avermelhada e faz parte da classe dos corantes xantenos, classe de corantes alimentares, e seus usos se estendem a indústria cosmética e farmacêutica (Sigma-Aldrich, 2025; Pereira et al., 2012). A coloração da solução de Eritrosina B, pode mudar de acordo com o pH do meio. Quando o pKa é de aproximadamente 3,79, a absorção máxima do corante ocorre em torno de 529 nm (possível coloração rosa avermelhada) e em pKa 2,35, com maior concentração de íons H^+ em solução, o pico de absorção máxima ocorre em 527 nm (possível coloração rosa-alaranjada) (Pelossi, 2012).

De acordo com Regulamento (UE) N.º 231/2012 de 9 de março de 2012, que estabelece especificações para aditivos alimentares nos Estados Unidos, a fabricação da Eritrosina B se dá a partir da iodação da fluoresceína, produto da condensação do resorcinol e do anidrido ftálico. Na Figura 6 é possível visualizar a estrutura química da Eritrosina B.

Figura 6 Estrutura química da Eritrosina B



Fonte: Sigma-Aldrich, 2025

Estudos de Anastácio et al. (2016), apontam que por mais que a Eritrosina B esteja regulamentada pelo governo dos Estados Unidos e pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, no Brasil, desde 1977, diversos estudos indicam que essa substância possui propriedades genotóxicas e citotóxicas. Inclusive, cabe ressaltar que o composto em questão é proibido pelas normas de saúde da Califórnia (Kobylewsk, 2010). Esse fato, ressalta a importância do tratamento desses resíduos nos efluentes industriais.

A literatura indica que a degradação do corante Eritrosina B (E127) pode ser promovida por processos de fotólise e fotocatalise. Observa-se que a fotocatalise, acelera significativamente o processo de degradação de corantes. A bibliografia analisada demonstra que a eficiência da degradação de corantes varia de acordo com fatores como a concentração da solução, o pH da solução, a temperatura, o tipo de catalisador utilizado e a massa do catalisador adicionada a solução (Ghali et al., 2021; Dana et al., 2020; Panchal et al., 2014; Jain e Sikarwar, 2012; Hasnat et al., 2007;).

Na Tabela 3, apresentada abaixo, constam as especificações químicas do composto que permitem nortear a condução dos experimentos de fotólise e fotocatalise.

Tabela 3 Classe química, pka, máxima absorção e solubilidade em solução aquosa para o corante Eritrosina B (T = 25°C)

Composto	Classe Química	pka ₁	pka ₂	λmax (nm)	Solubilidade
Eritrosina B	Xantenos	2,35	3,79	525	100 g/L

Fonte: Adaptado de Ghali et al., 2021

Com base na literatura consultada, a eficiência da degradação do corante ocorre de forma mais otimizada em um intervalo de pH entre 5 e 8. No entanto, o pH ideal para maximizar a eficiência desse processo, depende das condições específicas do meio e do tipo de catalisador utilizado na reação (Khan et al., 2024; Lohar et al., 2021; Ghali et al., 2021; Baccaro et al., 2019; Ameta e Prajapati; Panchal et al., 2014; Pereira et al., 2012; Jain e Sikarwar, 2010).

Alguns trabalhos analisados apresentaram resultados comparando a eficiência da degradação da Eritrosina B através da aplicação de fotocatalise com a adição de TiO₂. No trabalho de Hasnat et al. (2007), foram analisados os parâmetros: tipo de catalisador (TiO₂ e ZnO); faixa de pH (5,0-10,0) e aplicação de H₂O₂ para aumento da eficiência. O dióxido de titânio utilizado nesse estudo foi o TiO₂ Degussa P25 (75% anatase e 25% rutilo). Já no estudo de Jain e Sikarwar (2010), os parâmetros utilizados foram: TiO₂ anatase 325 mesh (em diferentes concentrações); solução estoque de eritrosina 0,01 mol/L (para preparo de diferentes concentrações); faixa de pH (2,4-9,2) e 7 mg/L de oxigênio (borbulhados continuamente na lateral do reator). Outros estudos como os de Ameta e Prajapati (2016), Pereira et al. (2012), Ghali et al. (2021), Gonda et al. (2017), Panchal et al. (2014), Lohar et al. (2021), Dana et al. (2020), analisam a eficiência da degradação da Eritrosina B utilizando processos oxidativos avançados, mas com a aplicação de outros óxidos condutores/polímeros ou até reatores fotocatalíticos, procedimentos diferentes dos adotados durante essa pesquisa.

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivos Gerais

Esse trabalho de conclusão visou avaliar e comparar a degradação do corante Eritrosina B através da aplicação de processos oxidativos avançados, como fotólise e fotocatalise, com a adição do catalisador dióxido de titânio (TiO₂).

3.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos desse trabalho de conclusão incluíram:

- realizar experimentos em soluções tampão com pH 5, 6, 7 e 8, a fim de identificar o pH que apresentou a melhor degradação do corante;
- investigar a degradação do corante utilizando fotocatalise com a presença do catalisador TiO₂ em três concentrações diferentes, mantendo a proporção de massa de catalisador em 1 g/L;
- verificar qual estrutura cristalina de dióxido de titânio demonstrou a melhor eficiência de degradação durante a a fotocatalise (P25, Mistura de Rutilo/Anatase e Anatase);
- comparar os resultados obtidos nos experimentos para determinar qual experimento apresenta maior eficiência na degradação do corante;
- analisar a degradação do corante por meio da fotólise, utilizando os pHs de melhor performance, determinando sua taxa de degradação e a velocidade da reação.
- determinar os parâmetros cinéticos.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Reagentes e equipamentos

Para a execução dos procedimentos experimentais presentes nesse trabalho foram utilizados os seguintes reagentes e equipamentos:

- Corante Eritrosina B (Cl.45430) - da Exôdo Científica ®;
- Óxido de titânio IV – anatase - da Sigma-Aldrich ® - com Pureza de 99,8%;
- Óxido de Titânio IV – mistura de rutilo e anatase - da Sigma-Aldrich ® - com Pureza de 99,5%;
- Óxido de Titânio P25 - Mistura de Anatase (80%) e Rutilo (20%) - da AE-ROXIDE ®
- Lâmpada ultravioleta (UV) - da Osram ® (254 nm) - com potência de 15 W;
- Espectrofotômetro Shimadzu ® - UV 1900i (190-1100 nm) e *software* Lab-Solutions UV-Vis;
- Centrífuga Kasvi ® K14-0815CX;
- Fotoreator/ Caixa Escura
- Agitador magnético IKA ® C-MAG HS 4;
- pHmetro Jenway ®;
- Cubetas de quartzo 3,5 ml;

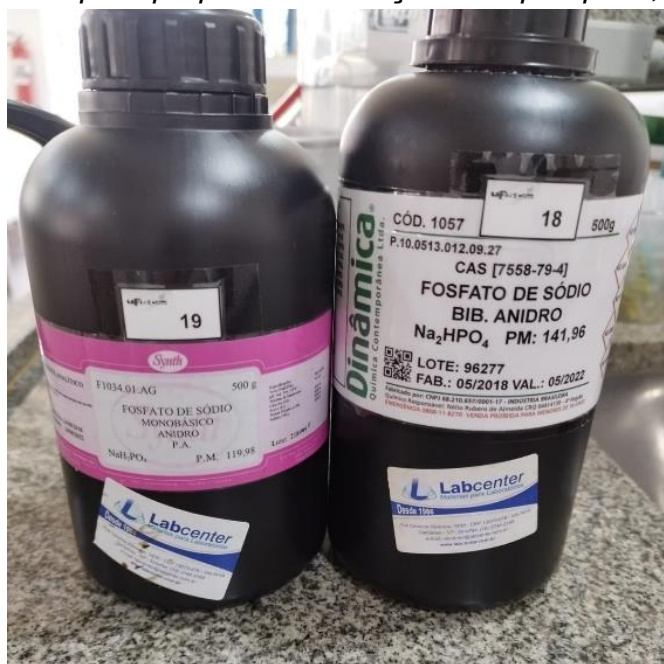
- NaH_2PO_4 da Synth®;
- Na_2HPO_4 da Dinâmica®.

4.2 Preparo das soluções tampão

Para o preparo das soluções tampão, foram utilizados os sais NaH_2PO_4 e Na_2HPO_4 , conforme mostrado na Figura 7. As massas empregadas foram definidas de acordo com a Tabela 4 abaixo.

Após o preparo, a solução foi transferida para um béquer e, com o auxílio de um pHmetro, seu pH aferido e anotado. A solução foi transferida para um recipiente devidamente identificado e armazenada em refrigerador a 4°C. Esse processo foi repetido para o preparo de soluções nos pH 5, 6, 7 e 8.

Figura 7 Sais utilizados para preparo das soluções tampão pH 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Tabela 4 Massas de NaH_2PO_4 e Na_2HPO_4 para preparo de 500 mL de solução tampão fosfato com força iônica de 0,2 mol/L

pH	NaH_2PO_4 (g)	Na_2HPO_4 (g)
5,00	13,465	0,088
6,00	9,200	2,013
7,00	2,355	3,925
8,00	0,305	4,650

Fonte: Adaptado de Moreira, Castro e Oliveira, 2021

4.3 Preparo das soluções padrão de Eritrosina B

Para o preparo das soluções padrão, foi utilizada uma balança analítica (cinco casas decimais). Com o auxílio de uma pequena espátula, pesou-se 2,0 mg de Eritrosina B. Para facilitar o manuseio do corante, utilizou-se um papel manteiga vincado, com dimensões aproximadas de 3 × 3 cm (Fig. 8 a).

Após a pesagem do corante, este material foi transferido para um balão volumétrico de 200 mL, e completou-se o volume com solução tampão. O menisco foi ajustado com o auxílio de uma pipeta de Pasteur e a solução foi homogeneizada (Fig. 8 b-c).

Em seguida, a solução do corante foi transferida para um béquer de 250 mL (Fig. 8 d), e uma alíquota de 4 ml foi retirada para a análise da absorbância t_0 (Fig. 8 e). Esse procedimento foi repetido antes da realização de cada um dos experimentos descritos neste trabalho. Além disso, na figura 8 f é apresentada uma imagem do fotoreator utilizado para a condução dos experimentos. O procedimento experimental de preparo das soluções e análise do t_0 está ilustrado nas imagens apresentadas na Figura 8.

Figura 8 Procedimento experimental de preparo das soluções padrão de Eritrosina B em solução tampão fosfato 0,2 mol/L: a) pesagem do corante; b) transferência do corante para o balão e adição de tampão fosfato; c) homogeneização da solução; d) transferência da solução para o béquer; e) medida da absorbância em t_0 ; f) inserção do béquer no fotoreator.



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.4 Fotólise

Para o procedimento de fotólise, 200 mL de uma solução aquosa contendo o corante Eritrosina B (0,01 g/L) foram adicionados a um béquer, e esta solução ficou em constante agitação magnética dentro do fotoreator, sob total exposição a irradiação durante o período total de 5h. Ao longo desse período foram retiradas alíquotas da solução a cada 30 minutos, totalizando 11 medidas. A cada período de 30 minutos, foi retirada uma alíquota de 5ml de solução e adicionada a cubeta de quartzo, para analisar a absorbância. O procedimento foi realizado em triplicata, para todos os pontos, visando analisar a precisão das medidas.

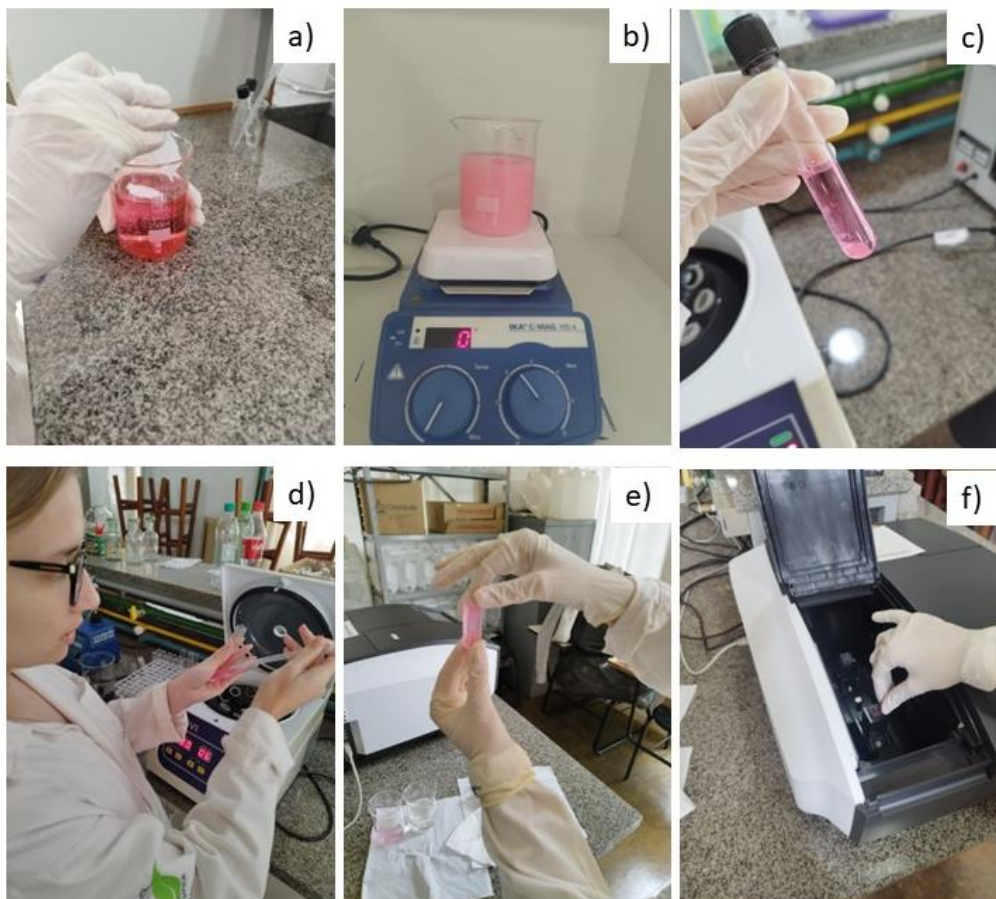
4.5 Fotocatálise

No procedimento de fotocatalise, 200 mL de uma solução aquosa contendo o corante Eritrosina B (0,01 g/L) foram adicionados a um béquer e em seguida, adicionou-se a massa do catalisador (TiO_2) (Fig. 9 a). Essa solução, ficou em agitação dentro da câmara, sob exposição da irradiação durante 2 horas e 15 minutos onde foram retiradas amostras a cada 15 minutos (Fig. 9 b).

A cada 15 minutos, cerca de 5 mL da solução degradada foram retirados do béquer e transferidos para um tubo de ensaio. Então, com o auxílio de uma centrífuga, a amostra foi centrifugada durante 10 minutos a 3000 rpm, para a remoção do catalisador evitando com que sua presença sobrenadante interferisse nas leituras (Fig. 9 c).

Após essa etapa uma alíquota de aproximadamente 4 mL da solução foi adicionada na cubeta de quartzo, onde realizou-se a leitura da absorbância no comprimento de onda de maior absorção, 526,5 nm, (Fig. 9 d-f). O procedimento foi realizado em triplicata para assegurar a precisão das medidas. Por fim, foram retiradas alíquotas a cada 15 minutos, totalizando 2 horas e 15 minutos (10 pontos = 1 t_0 + 9 pontos de amostragem). Imagens da metodologia para a fotocatalise, podem ser observadas na Figura 9 apresentada abaixo.

Figura 9 Procedimento experimental de preparo das soluções padrão de Eritrosina B (0,01 g/L) com catalisador TiO_2 , em solução tampão fosfato 0,2 mol/L : a) adição do catalisador na solução padrão; b) solução em agitação magnética; c) tubo de ensaio após centrifugação com a presença de catalisador decantado; d) transferência de alíquota para a cubeta; e) cubeta com solução sem fase sobrenadante; f) inserção da cubeta no espectrofotômetro.



Fonte: Autoria Própria, 2025

4.6 Construção da curva de calibração

Para a construção da curva de calibração, inicialmente preparou-se uma solução de água destilada e corante, com concentração de 0,01 g/L. Essa solução estoque foi posteriormente diluída para obter diferentes concentrações. As concentrações estabelecidas foram: 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 g/L.

Após o cálculo das diluições, utilizou-se balões volumétricos de 10 mL para preparar as soluções diluídas, completando o volume com água destilada até o menisco, para ajustar a concentração.

Após o preparo das soluções, retira-se uma alíquota de aproximadamente 4

mL de cada solução, que é então transferida para a cubeta e posterior leitura no espectrofotômetro. As medições devem ser realizadas da solução menos concentrada para a mais concentrada. Os resultados obtidos para os dez pontos foram utilizados para construir a curva de calibração.

4.7 Tratamento de Dados

Foi utilizado o software Origin® para realizar o tratamento dos dados brutos e confeccionar os gráficos referentes a taxa de degradação e parâmetro cinético das reações. Para padronizar os resultados, inicialmente, a absorbância foi transformada em concentração.

Afim de determinar e comparar as eficiências das degradações em porcentagem, será utilizada a Equação 1:

$$\eta = ((C_0 - C_t) / C_0) * 100 \quad 1$$

Onde:

η = Eficiência percentual da degradação;

C_0 = Concentração Inicial;

C_t = Concentração no tempo t.

A cinética de degradação que ocorre durante a redução de compostos orgânicos em meio aquoso pode ser de primeira ordem ou ordem zero. Em reações de cinética de primeira ordem o eixo y diminui linearmente com o tempo (eixo x). A análise dos parâmetros de cinética de primeira ordem, foi possível através do gráfico $\ln(C_0 / C_t)$ (eixo Y) versus tempo em minutos (eixo X). Onde “ C_0 ” é a concentração inicial e “ C_t ” a concentração no tempo t. Neste tipo de gráfico, a angulação apresenta o valor da constante cinética/ constante de descoloração “k” (Fraga et al., 2021).

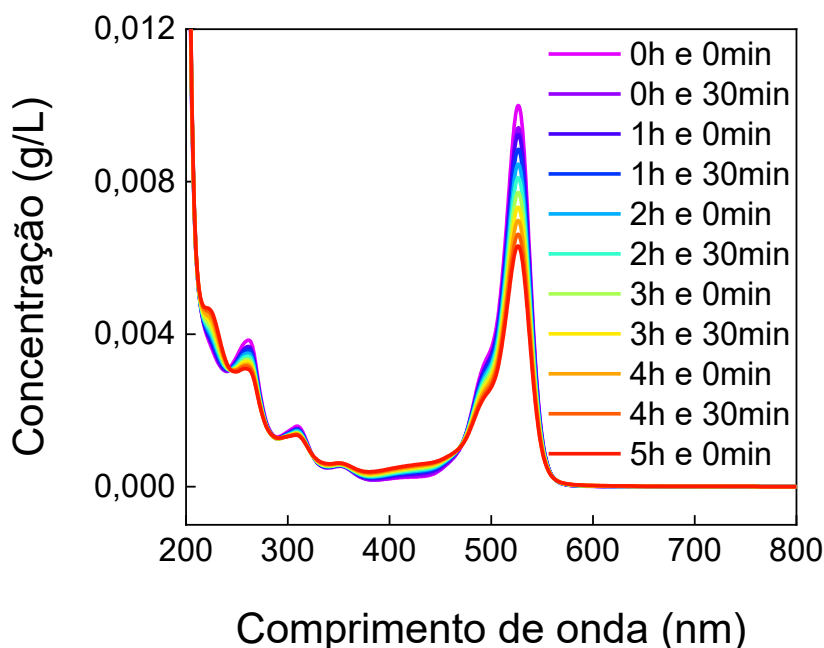
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Fotólise

Inicialmente, para verificar a possibilidade de degradação da Eritrosina B por fotólise e fotocatalise foi realizada a fotólise em água destilada. Os resultados demonstraram que o corante apresentou degradação através da aplicação da radiação de 254 nm e dessa forma seria possível maximizar a taxa de degradação

através da modificação de alguns parâmetros. Os espectros de UV-Vis da Eritrosina B obtidos neste experimento são apresentados na Figura 10.

Figura 10 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254 nm em água destilada. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.

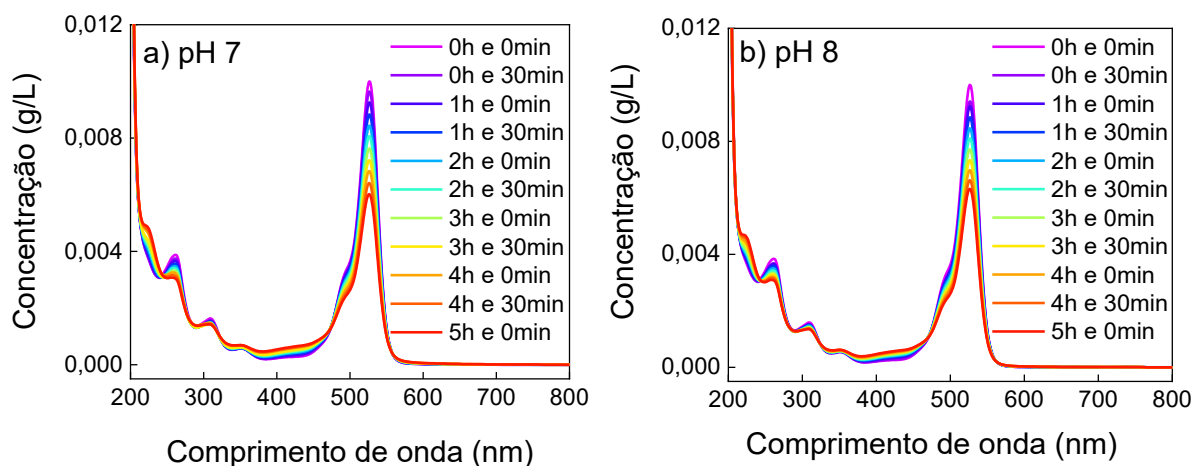


Fonte: Autoria Própria, 2025

Após esse experimento inicial, novos experimentos de fotólise foram realizados após toda otimização dos parâmetros (solução tampão e pH ideais), de forma a comparar com os resultados obtidos nos experimentos de fotocatalise, a saber, solução tampão fosfato pHs 7,0 e 8,0. A fotólise foi realizada no período de 5h para cada um dos pHs.

Na Figura 11, abaixo, são apresentados os espectros dos experimentos de fotólise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L em pH 7,0 e pH 8,0, com o máximo de absorção em 526,5 nm.

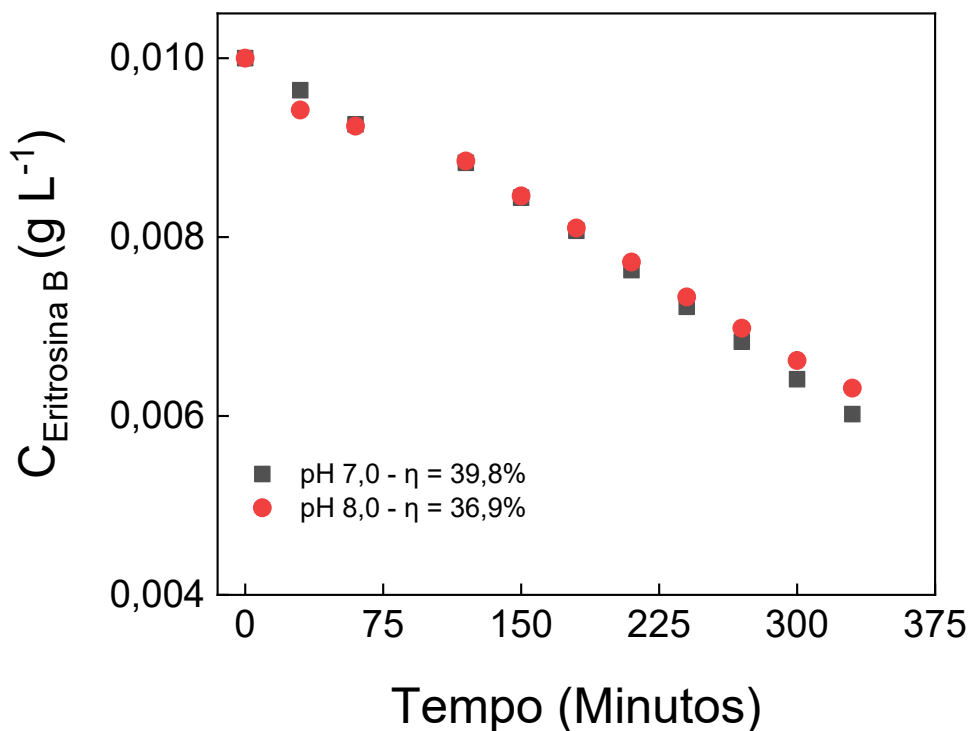
Figura 11 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254nm em solução tampão fosfato 0,2 mol/L: a) pH 7,0 e b) pH 8,0. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 12, abaixo, é apresentada a relação entre a concentração do corante Eritrosina B (0,01g/L) versus o tempo de experimento (fotólise), bem como a taxa de degradação, em % (valores inseridos), em presença de solução tampão fosfato 0,2 mol/L em pHs 7,0 e 8,0.

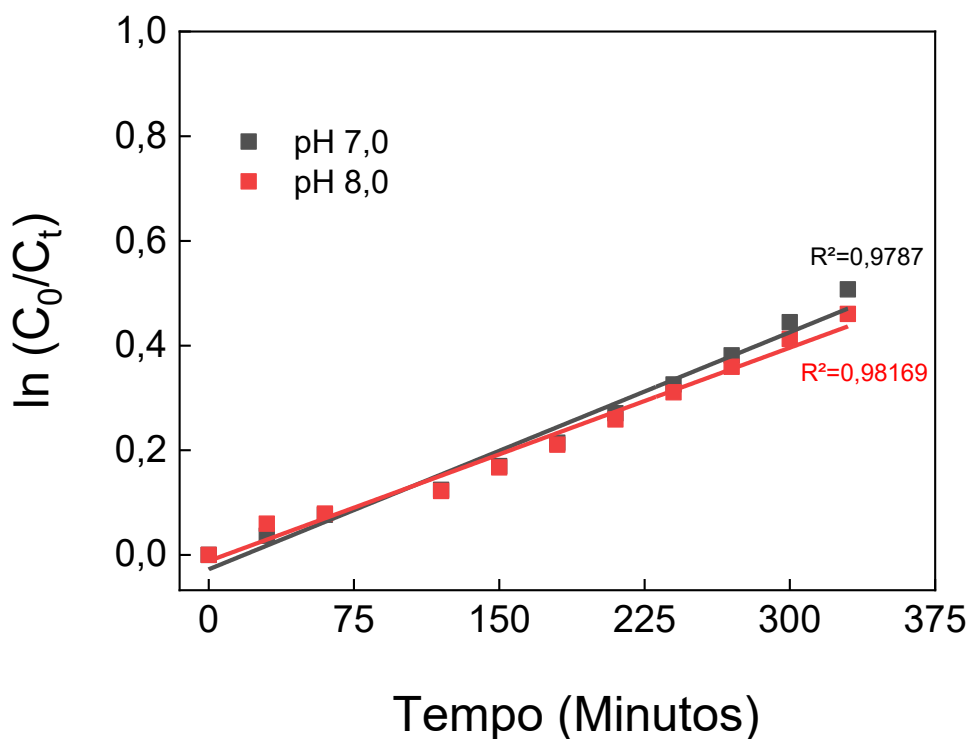
Figura 12 Variação das concentrações de Eritrosina B em relação ao tempo de exposição à radiação UV e taxa de degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotólise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pH 7,0 e pH 8,0.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 13, a relação entre $\ln(C_0/C_t)$ em função do tempo, em que C_0 e C_t são as concentrações de Eritrosina B no início e após um determinado tempo t , respectivamente. Assim, pode-se obter a constante cinética da reação de primeira ordem, em min^{-1} , relacionada à degradação do corante durante a fotólise (Ye et al, 2019). O coeficiente de determinação (R^2), que indica se os dados estão bem ajustados (próximo de 1) ou não (próximo de 0) também foi apresentado.

Figura 13 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotólise em solução tampão 0,2 mol/L em pHs 7,0 e 8,0.



Fonte: Autoria Própria, 2025

De acordo com o gráfico acima, as constantes cinéticas da reação obtidas em solução tampão fostato 0,2 mol/L em pH 7,0 e pH 8,0 foram muito próximas. No entanto, em solução tampão pH 7,0 ainda apresentou cinética ligeiramente superior ($1,51 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) se comparada em pH 8,0 ($1,36 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$). Além disso a taxa de degradação da solução do corante em pH 7,0 (39,8%) também foi levemente superior a encontrada em pH 8,0 (36,9%). Logo, o pH 7,0 se mostrou mais eficiente, quando comparado a performance no pH 8,0.

Na Figura 14, estão presentes imagens da comparação entre a coloração da solução de Eritrosina B (0,01g/L) durante a primeira medida (t_0) e última medida (t_{10}) durante o experimento de fotólise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L em pH 7,0. A partir dessas fotografias é possível verificar que a diferença na coloração foi bem sutil após o período de 5,0 horas.

Figura 14 Comparação entre a coloração do primeiro e último ponto coletado durante o experimento de fotólise na solução tampão pH 7.



Fonte: Autoria Própria, 2025

5.2 Fotocatálise

5.2.1 Variação do tipo de catalisador

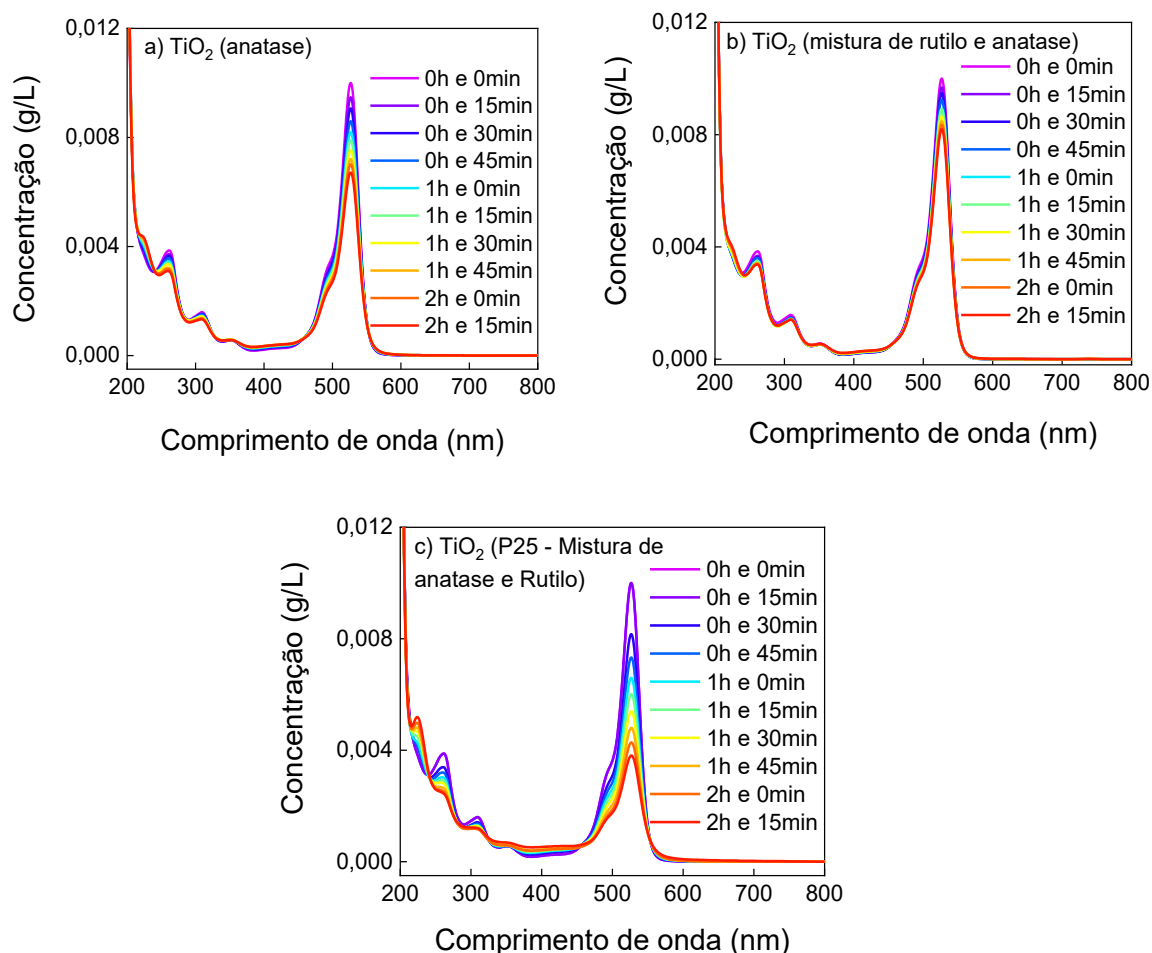
Inicialmente, foi realizado um estudo para avaliar se as diferenças entre as estruturas cristalinas do TiO_2 trariam uma diferença na eficiência de degradação do corante Eritrosina B. Para isso, foram utilizados os catalisadores: dióxido de titânio anatase; dióxido de titânio mistura de rutilo e anatase e dióxido de titânio P25 (mistura entre anatase e rutilo).

Uma vez que o estudo de Hasnat et al. (2007), indica que a degradação da Eritrosina B através da aplicação de TiO_2 demonstra melhor eficiência em meios básicos, o pH adotado foi o de 8,0 para a condução desse experimento. Os estudos de Ameta e Prajapati (2016) e Panchal et al (2014), indicam que o pH 8,0 é o melhor para degradação da Eritrosina. Além do mais, quanto maior a concentração de dióxido de titânio é aplicada na solução, maior é o efeito na degradação de poluentes orgânicos (Zangeneh et al., 2015). Dessa forma, a concentração adotada de catalisador durante a realização desse experimento foi de 10,0 g/L. Cabe ressaltar que estudos a respeito dos efeitos da variação do pH da solução e da concentração de catalisador, com a finalidade de otimizar a degradação de corante, foram realizados em etapas posteriores.

Na Figura 15, são apresentados os espectros obtidos para a fotocatálise de Eritrosina B em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 no período de 2 horas e 15 minutos, em presença de TiO_2 com diferentes estruturas cristalinas ou misturas entre

elas. A concentração da solução padrão de Eritrosina B foi fixada em 0,01 g/L e a concentração de catalisador em 10,0 g/L.

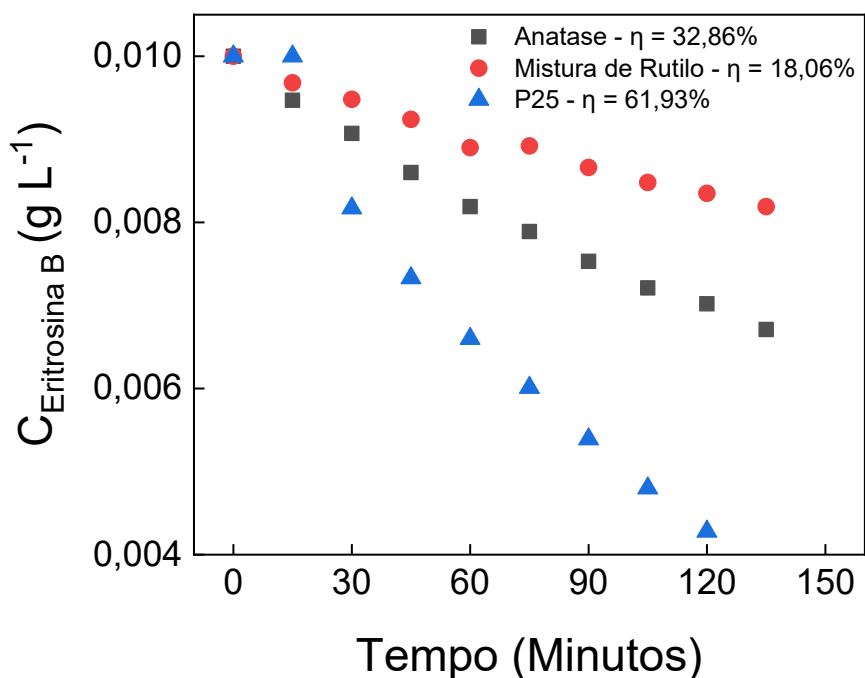
Figura 15 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de 10,0 g/L de TiO_2 e solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 para os diferentes estruturas cristalinas: a) mistura de anatase, b) mistura rutilo e c) P25. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 16, estão presentes os gráficos das concentrações de Eritrosina B por tempo e as respectivas taxas de degradação para as diferentes variantes do TiO_2 . A concentração da solução padrão de Eritrosina B foi fixada em 0,01 g/L; em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 e a concentração de catalisador de 10,0 g/L.

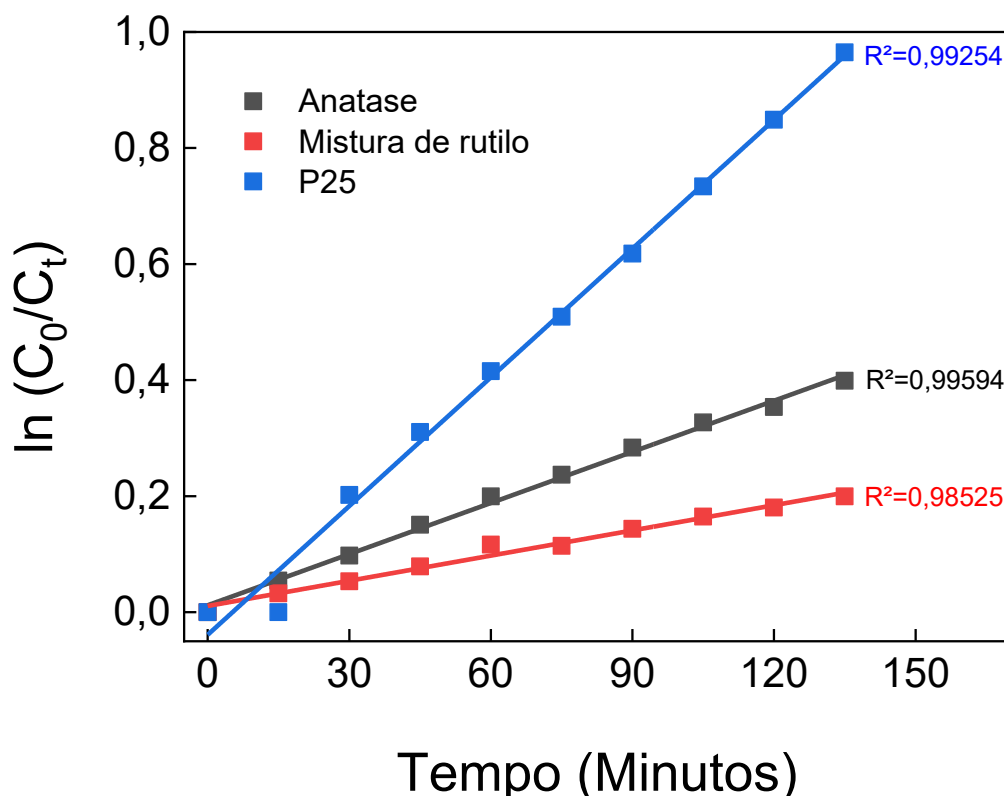
Figura 16 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação do tempo de exposição à radiação UV e de degradação do corante para a fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 com adição de 10,0 g/L de TiO_2 utilizando ■) anatase, ●)mistura de rutilo e anatase e ▲)P25.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 17, está apresentada a relação entre $\ln(C_0/C_t)$ versus o tempo de degradação para obtenção das constantes cinéticas. A concentração de Eritrosina B foi mantida em 0,01 g/L em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 para as diferentes estruturas cristalinas (ou misturas entre elas) de TiO_2 .

Figura 17 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 com adição de 10,0 g/L de TiO_2 utilizando ■) anatase, ●) mistura de rutilo e anatase e ▲)P25.



Fonte: Autoria Própria, 2025

A variante P25 do TiO_2 apresentou uma degradação significativamente superior se comparada a degradação exibida com a utilização das outras duas variantes do catalisador. O P25 (61,93%) apresentou quase o dobro da degradação da anatase (32,86%) e quase três vezes e meia da degradação da mistura de rutilo e anatase (18,06%). Além disso, o composto também apresentou constante cinética muito superior as obtidas em relação às outras duas estruturas cristalinas, a saber: P25 ($7,39 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$); anatase ($2,94 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) e mistura de rutilo e anatase ($1,45 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$).

Uma vez, que os catalisadores anatase e mistura de rutilo e anatase não apresentaram boa performance na degradação de Eritrosina B, para a condução dos próximos experimentos foi selecionado o dióxido de titânio P25, visando a otimização da eficiência de degradação.

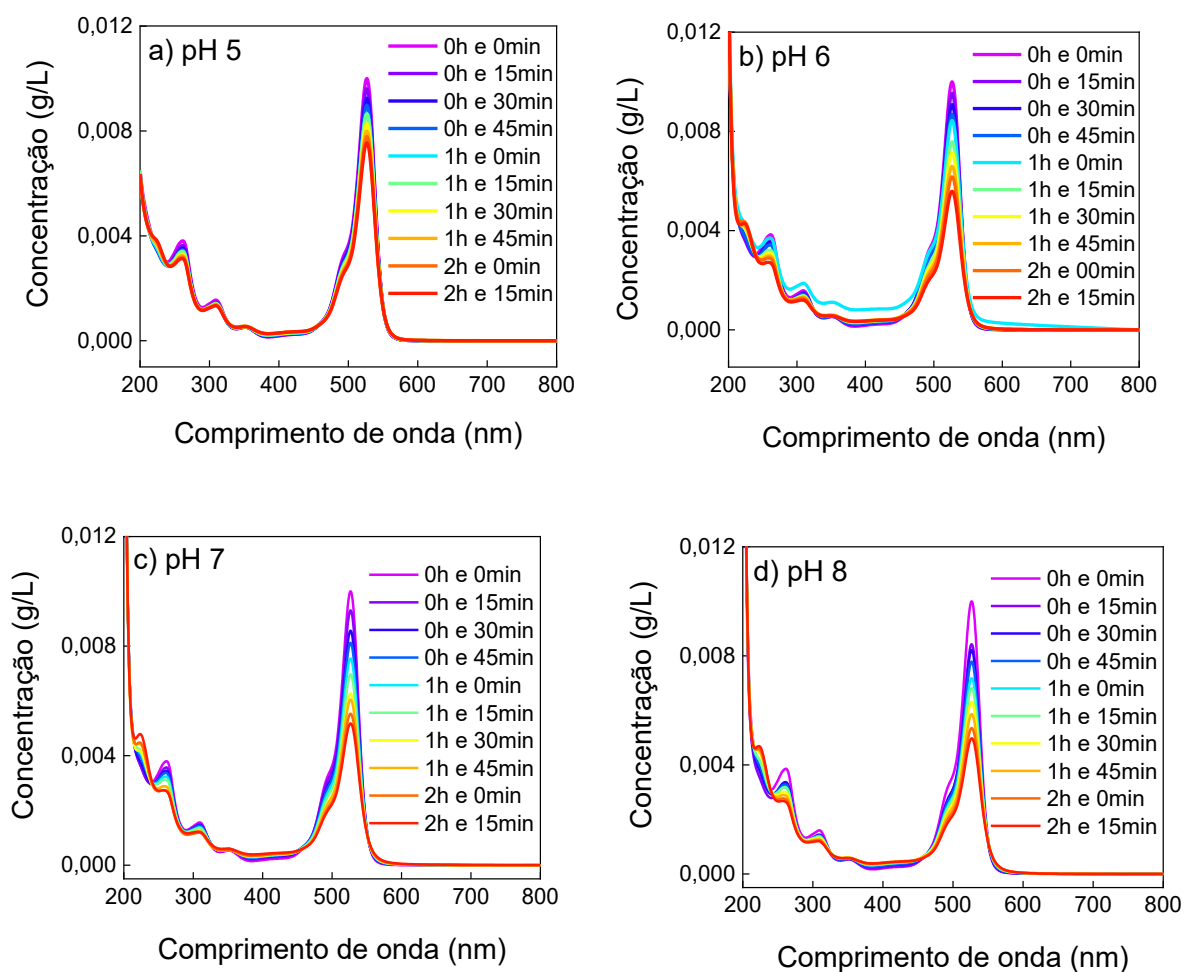
5.2.2 Variação de Potencial Hidrogeniônico (pH)

Uma vez que a literatura indica que a faixa de pH ideal para a degradação da Eritrosina B e atividade do fotocatalisador, TiO_2 , varia entre 5,0 e 8,0 (Lohar et al.,2021; Ghali et al.,2021; Baccaro et al.,2019; Panchal et al., 2014; Pereira et al., 2012; Jain e Sikarwar, 2010), foram realizados experimentos nessa faixa de pH visando determinar qual meio apresentava a melhor eficiência de degradação durante os experimentos de fotocatalise.

Dessa forma, variou-se o pH da solução de corante, mantendo-se constante a concentração da solução padrão de Eritrosina B em 0,01g/L e a concentração do catalisador em 1,0 g/L (TiO_2 P25 – 80% anatase e 20% rutilo). Essa concentração foi adotada uma vez que outros trabalhos do grupo obtiveram resultados satisfatórios utilizando 1,0 g/L de TiO_2 e trabalhos como o de Hasnat et al. (2007) apresentaram boa degradação utilizando 0,5-2,5 g/L de TiO_2 . Pontua-se que a concentração de catalisador adotada, foi estudada e otimizada na última etapa dos experimentos.

Na Figura 18 a-d) é possível visualizar os espectros obtidos nos experimentos de fotocatalise para a degradação de Eritrosina B em presença de solução tampão fosfato 0,2 mol/L com os pHs variando entre 5,0 e 8,0 em um período de 2 horas e 15 minutos e com máximo de absorção em 526,5 nm.

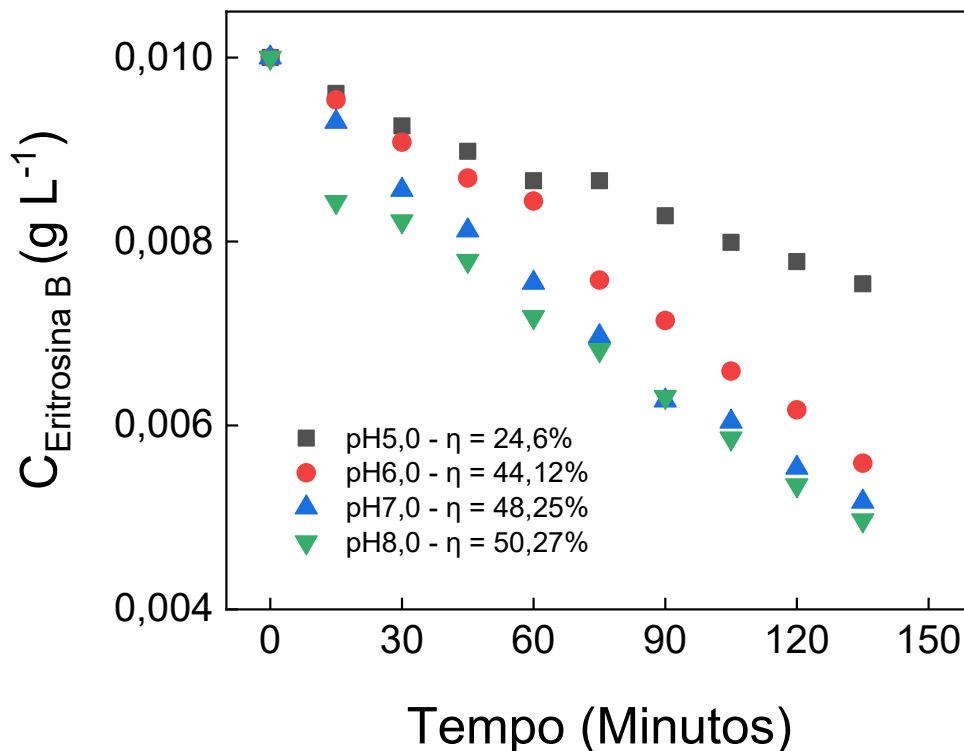
Figura 18 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO_2 P25 (1,0 g/L) e solução tampão fosfato 0,2 mol/L a) pH 5,0; b) 6,0; c) pH 7,0 e d) pH 8,0. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 19, estão presentes as relações entre as concentrações de Eritrosina B por tempo de experimento (fotocatálise), bem como as taxas de degradação das soluções entre o t_0 e t_9 em presença de solução tampão fosfato 0,2 mol/L nos pHs 5,0 a 8,0.

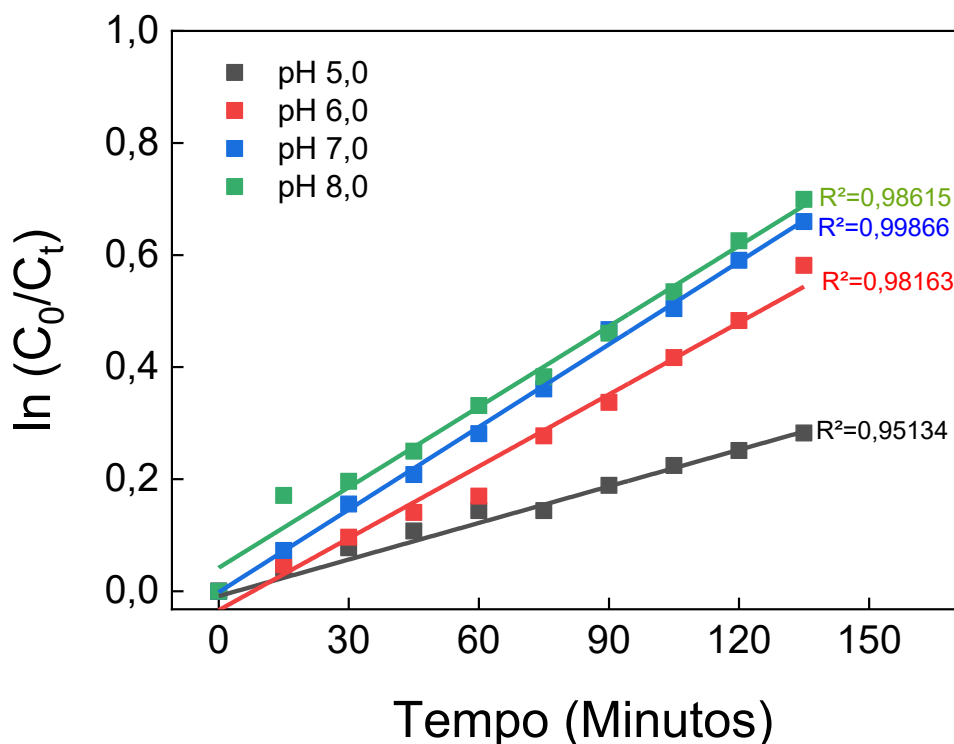
Figura 19 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV em presença de TiO_2 P25 (1,0 g/L) e taxa de degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fosfato 0,2 mol/L em pHs 5,0; 6,0; 7,0 e 8,0.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Na Figura 20, variação de $\ln(C_0/C_t)$ ao longo do tempo, onde C_0 representa a concentração inicial de Eritrosina B e C_t a concentração após um tempo t , permite determinar a constante de velocidade de uma reação de primeira ordem, expressa em min^{-1} , associada à degradação do corante durante o processo de fotocatalise.

Figura 20 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise com adição de 1,0 g/L de TiO_2 P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L em ■) pH 5,0; ■) pH 6,0; ■) pH 7,0 e ■) pH 8,0.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Foi possível notar que as soluções neutras e alcalinas (pHs 7,0 e 8,0) apresentam uma melhor performance durante a degradação de Eritrosina B, durante a fotocatalise, sendo que o pH 8,0 apresentou taxa de degradação ligeiramente superior (50,27%) ao pH 7,0 (48,25%), porém a degradação em pH 7,0 exibiu maior constante cinética de degradação ($4,91 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) do que em pH 8,0 ($4,79 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$) e o coeficiente de determinação em pH 7,0 apresentou um melhor ajuste dos dados (0,99725) do que em pH 8,0 (0,98615). Nesse sentido, selecionou-se o pH 7,0 os estudos subsequentes.

De acordo com trabalhos prévios de Lohar et al.,2021; Ghali et al.,2021; Baccaro et al.,2019 e Jain e Sikarwar, 2010, a Eritrosina B apresenta maior taxa de degradação em pHs ácidos (5,0-6,0) ou em solução neutra (pH 7,0). Isso ocorre pois, em meio ácido, há maior disponibilidade de íons H^+ , promovendo a maior formação de radicais hidroxila (oxidantes), além disso em pHs ácidos a superfície do dióxido de titânio tende a ser carregada positivamente, favorecendo a adsorção de corantes aniônicos, como é o caso da Eritrosina B. Já em meio neutro ou moderadamente básico (7,0 e 8,0), a superfície do dióxido de titânio tende a não apresentar carga ou

estar carregada negativamente, mas pode ocorrer degradação uma vez que radicais hidroxila formados podem apresentar maior estabilidade durante as reações (Baccaro et al., 2019; Hasnat et al., 2007).

Resultados semelhantes, indicando que o aumento do pH do meio pode influenciar positivamente a eficiência da degradação fotocatalítica da Eritrosina B em presença de dióxido de titânio (2,0 g/L de anatase) podem ser observados no trabalho de Hasnat e colaboradores (Hasnat et al., 2007).

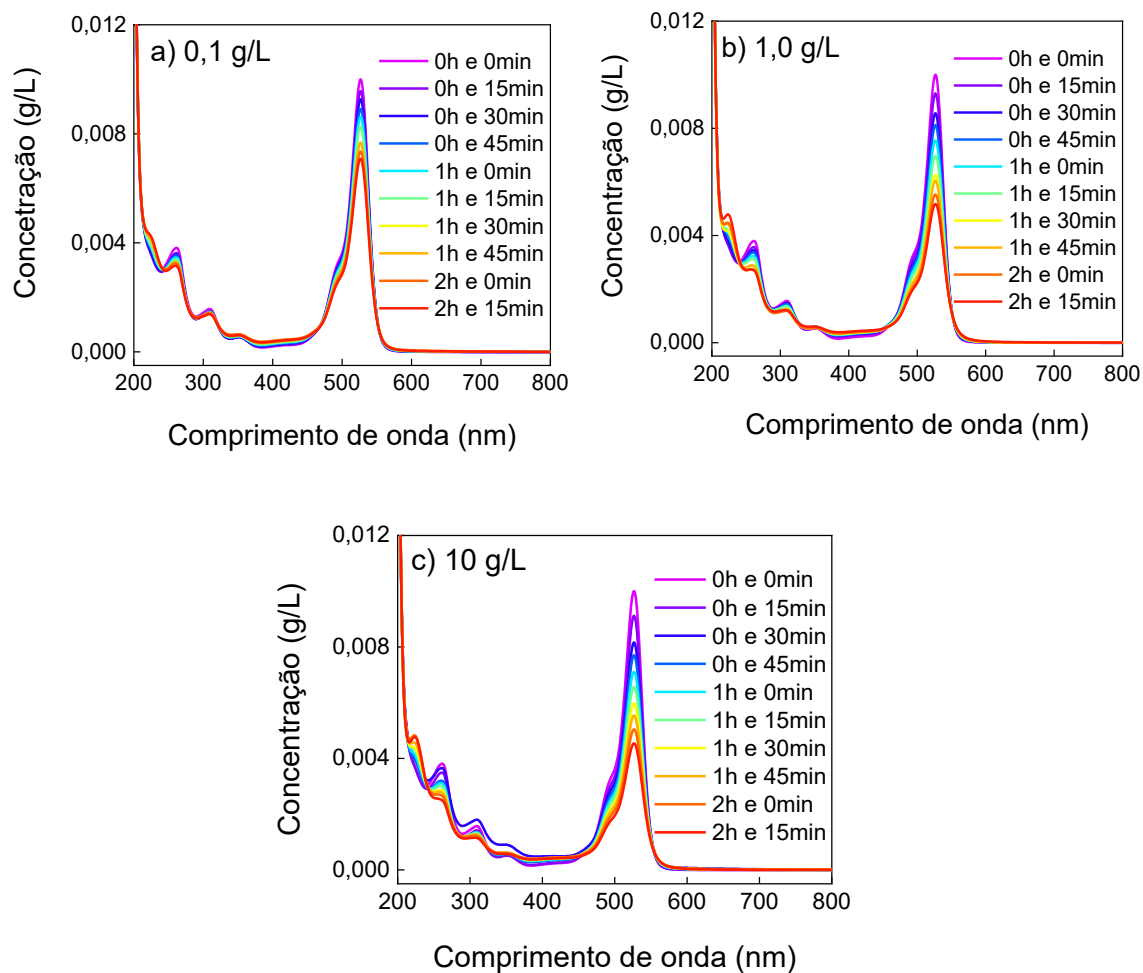
Por mais que o pH 7,0 tenha se demonstrado mais eficiente na degradação da Eritrosina B, a próxima etapa de experimentos foi realizada com os pHs que se mostraram mais indicados e obtiveram melhores resultados na eficiência de degradação, a saber, pH 7,0 e 8,0.

5.2.3 Variação da concentração de catalisador

Por fim, foi realizado um estudo variando-se a massa de catalisador para os experimentos de fotocatalise. Como o estudo anterior havia sido baseado na concentração de catalisador fixa em 1,0 g/L, optou-se por avaliar um nível de grandeza acima e um abaixo desse valor, e assim, as massas (e concentrações) de TiO₂ P25 utilizadas nesse estudo foram de 0,02 g (0,10 g/L), 0,2 g (1,0 g/L) e 2,0 g (10 g/L).

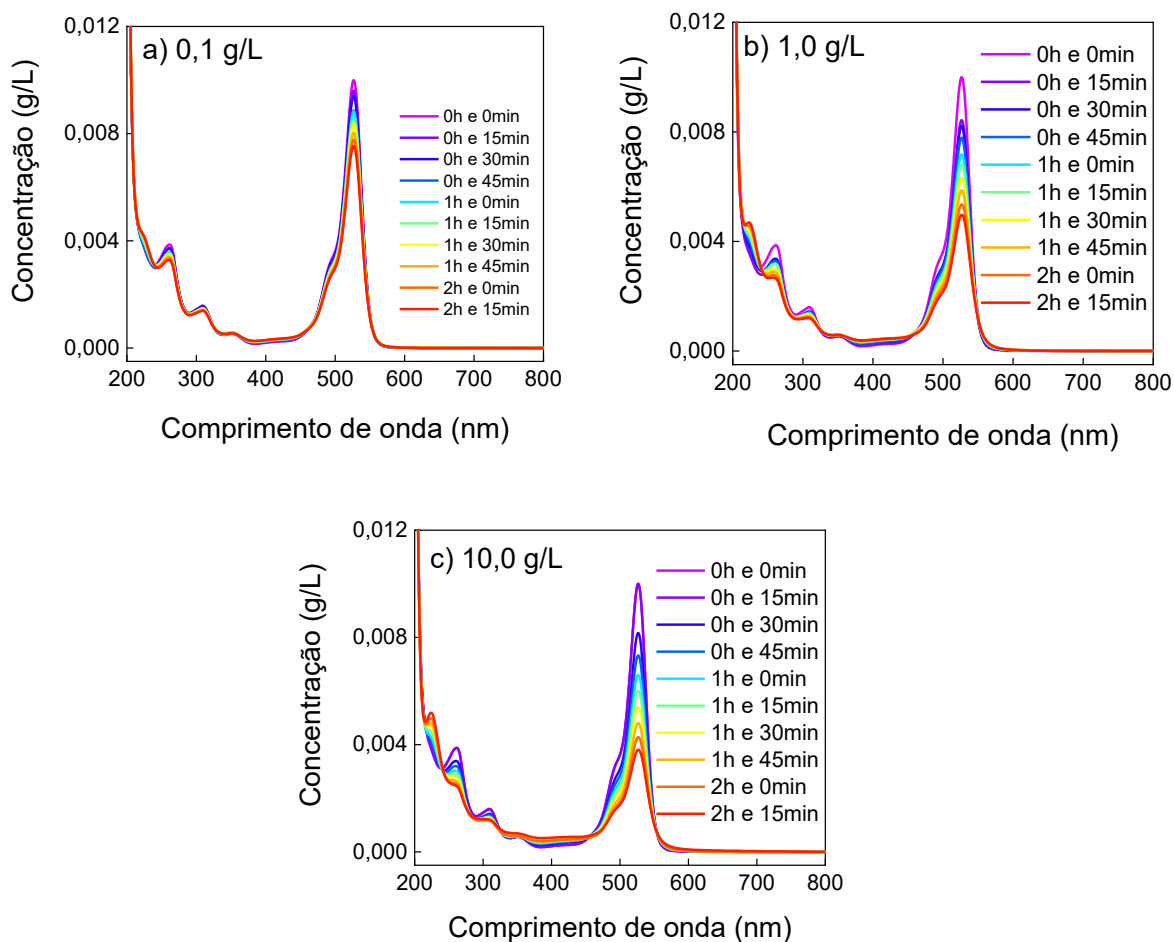
Na Figura 21, é possível visualizar os espectros obtidos para a fotocatalise de Eritrosina B em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 7,0, (máximo de absorção em 526,5 nm) no período de 2 horas e 15 minutos. Além disso, na Figura 22, são apresentadas as condições experimentais com a única diferença do pH da solução, nesse caso igual a 8,0. Em ambos os casos, a concentração da solução de Eritrosina B foi fixada em 0,01 g/L.

Figura 21 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO_2 P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 7,0 em diferentes concentrações de catalisador a) 0,1 g/L; b) 1,0 g/L; c) 10,0 g/L. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.



Fonte: Autoria Própria, 2025

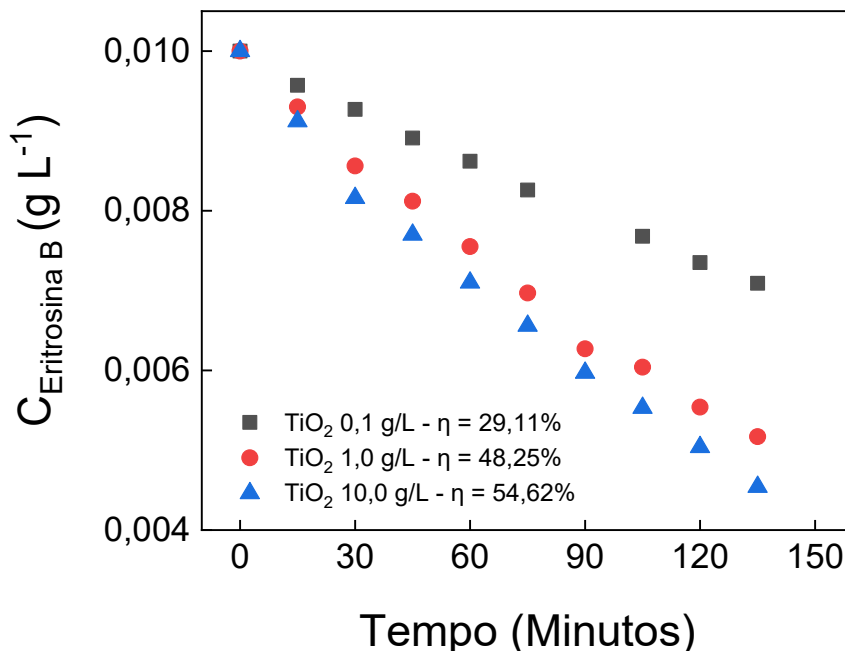
Figura 22 Espectros UV-Vis de Eritrosina B (0,01 g/L) sob a fonte de radiação de 254nm em presença de TiO_2 P25 em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0 em diferentes concentração de catalisador a) 0,1 g/L; b) 1,0 g/L; c) 10,0 g/L. Resultados obtidos em intervalos de 15 minutos.



Fonte Autoria Própria, 2025

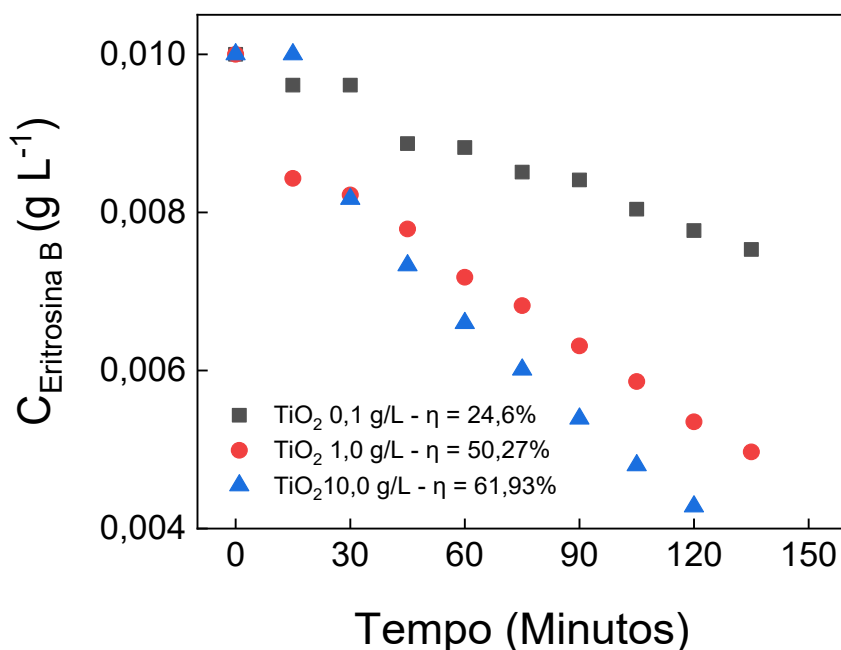
Com os espectros obtidos anteriormente, foram construídos gráficos com as relações entre concentração de Eritrosina B pelo tempo (Figuras 23 e 24), além das taxas de degradação obtidas em cada um dos experimentos. Os estudos foram conduzidos em solução tampão fosfato pH 7,0 e 8,0, mantendo-se fixa a concentração da solução padrão de Eritrosina B igual a 0,01 g/L e variando-se a massa de catalisador adicionada a solução.

Figura 23 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV e degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pH 7,0. Concentração de TiO_2 P25 (■) 0,1 g/L; (●) 1,0 g/L e (▲) 10,0 g/L.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Figura 24 Variação das concentrações de Eritrosina B (0,01 g/L) em relação ao tempo de exposição à radiação UV e degradação do corante (valores inseridos) para os experimentos de fotocatalise em soluções tampão fostato 0,2 mol/L em pH 8,0. Concentração de TiO_2 P25 (■) 0,1 g/L; (●) 1,0 g/L e (▲) 10,0 g/L.

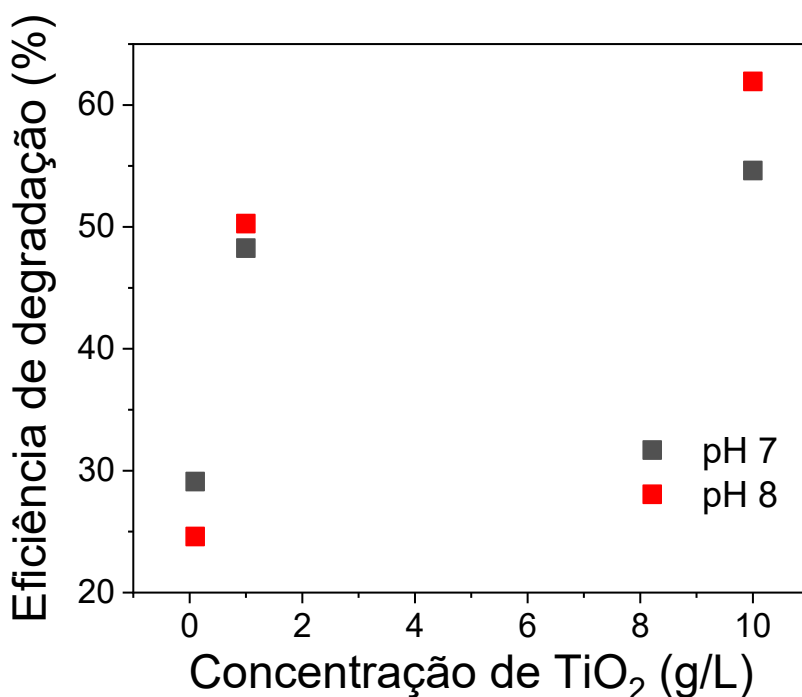


Fonte: Autoria Própria, 2025

Os resultados obtidos demonstram que o aumento da concentração de TiO_2 em solução, levou a um aumento da degradação de Eritrosina B em solução tampão fosfato 0,2 mol/L (pH 7,0) de 29,11% ($\text{TiO}_2 = 0,1 \text{ g/L}$), 48,25% ($\text{TiO}_2 = 1,0 \text{ g/L}$) e 54,62% ($\text{TiO}_2 = 10,0 \text{ g/L}$). Similarmente, em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0, a degradação do corante também aumentou com o aumento de concentração do catalisador em solução de 24,60; 50,27 e 61,93% para TiO_2 igual a 0,1 g/L; 1,0 g/L e 10,0 g/L, respectivamente.

Apesar do aumento da concentração de TiO_2 levar a uma melhora na eficiência de degradação do corante, nota-se que quando a concentração de TiO_2 foi aumentada em 100 vezes (de 0,1 g/L para 10,0 g/L) o aumento de eficiência foi de apenas 1,88 e 2,52 vezes maior para pH 7,0 e 8,0, respectivamente. Por outro lado, quando o aumento da concentração do catalisador foi de 0,1 g/L para 1,0 g/L, isto é, foi aumentada em 10 vezes, o aumento da eficiência de degradação foi de 1,66 vezes maior em pH 7,0 e de 2,04 vezes maior em pH 8,0. Isso é evidenciado na Figura 25, que relaciona o aumento e eficiência de degradação do corante Eritrosina B com a concentração de TiO_2 em solução.

Figura 25 Relação entre a eficiência de degradação (na fotocatalise) do corante Eritrosina B (0,01 g/L) em relação às concentrações de TiO_2 P25: 0,1; 1,0 e 10,0 g/L, em pH 7,0 e 8,0.

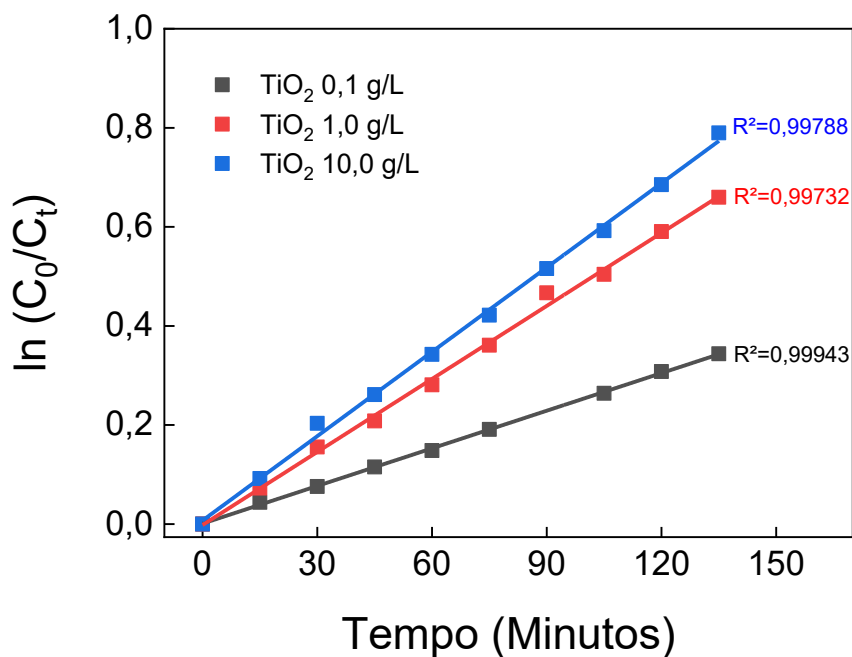


Fonte: Autoria Própria, 2025

Esse resultado indica que o aumento da concentração de TiO_2 em solução não leva a um aumento linear da eficiência de degradação, e uma vez que maiores concentrações do catalisador significam uma maior geração de resíduos e conseqüentemente a um tratamento mais oneroso, a concentração de TiO_2 de 1,0 g/L foi selecionada para os estudos posteriores.

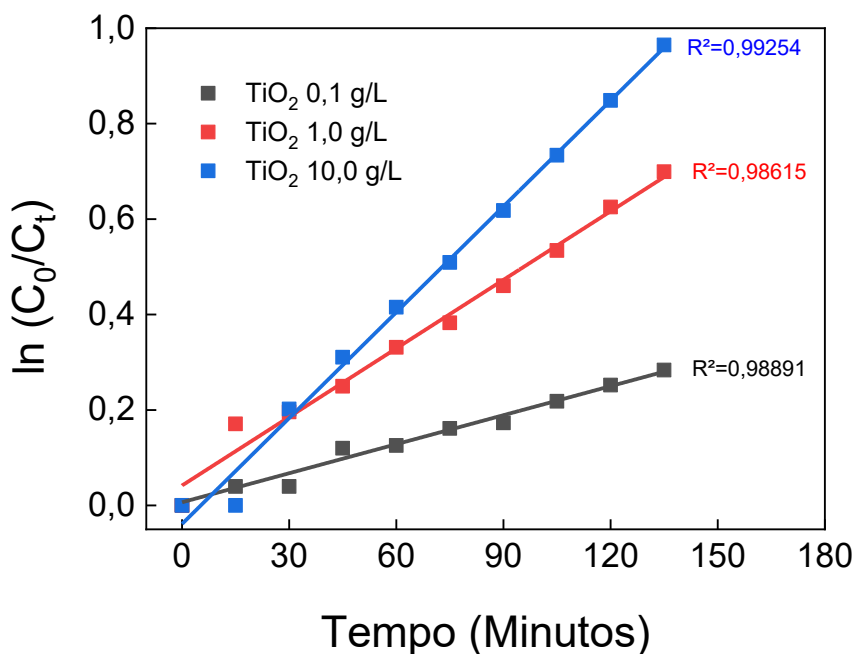
Como forma de complementar os resultados, a relação entre $\ln(C_0/C_t)$ ao longo do tempo também foi obtida para pH 7,0 (Figura 26) e pH 8,0 (Figura 27), para obtenção das constantes cinéticas.

Figura 26 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 7,0. Concentração de TiO_2 P25 (■) 0,1 g/L; (■) 1,0 g/L e (■) 10,0 g/L.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Figura 27 Cinética de primeira ordem para os experimentos de degradação da Eritrosina B (0,01 g/L) por fotocatalise em solução tampão fosfato 0,2 mol/L pH 8,0. Concentração de TiO_2 P25 (■) 0,1 g/L; (■) 1,0 g/L e (■) 10,0 g/L.



Fonte: Autoria Própria, 2025

Assim como o aumento da concentração de TiO_2 em solução levou a um aumento da eficiência de degradação de Eritrosina B em solução, as constantes cinéticas também aumentaram com o aumento da concentração do catalisador no meio reacional, conforme evidenciado nas Figuras 26 e 27. Em pH 7,0 os valores de k foram de $2,53 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ($\text{TiO}_2 = 0,1 \text{ g/L}$), $4,91 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ($\text{TiO}_2 = 1,0 \text{ g/L}$) e $5,68 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ ($\text{TiO}_2 = 10,0 \text{ g/L}$). De maneira similar, em pH 8,0 os valores de k também aumentaram com o aumento da concentração de TiO_2 em solução de $2,03 \times 10^{-3}$, $4,79 \times 10^{-3}$ e $7,39 \times 10^{-3} \text{ min}^{-1}$ para 0,1; 1,0 e 10,0 g/L de TiO_2 , respectivamente.

Também é possível destacar que na concentração de TiO_2 otimizada (1,0g/L) as constantes cinéticas foram bastantes similares, ligeiramente maior em pH 7,0.

5.3 Curva de Calibração

Por fim, foi construída uma curva de calibração em que foram utilizadas diluições a partir da solução estoque de Eritrosina B de 0,01 g/L. Dessa forma, na Tabela 5, estão descritas as concentrações e as absorbâncias correspondentes (no máximo de absorção de 526,5 nm). Em complemento, a Figura 28 exibe a coloração das 10 soluções utilizadas para a calibração.

Tabela 5 Concentrações preparadas da solução de Eritrosina B e respectivas absorbâncias obtidas para a construção da curva de calibração.

Ponto	Concentração (g/L)	Absorbância
C1	0,0002	0,045
C2	0,0004	0,061
C3	0,0006	0,092
C4	0,0008	0,122
C5	0,001	0,138
C6	0,002	0,273
C7	0,004	0,553
C8	0,006	0,819
C9	0,008	1,078
C10	0,01	1,241

Fonte: Autoria Própria, 2025

Figura 28 Soluções utilizadas para construção da curva de calibração de Eritrosina B nas concentrações 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 g/L.

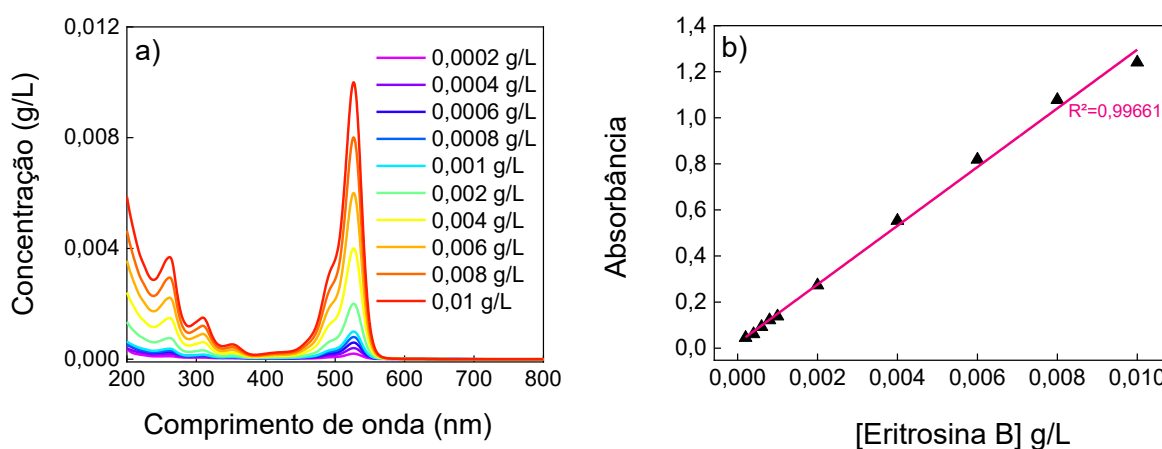


Fonte: Autoria Própria, 2025

À medida que a concentração de Eritrosina B foi aumentada, observou-se um crescimento linear na intensidade dos picos de absorvância em 526,5 nm. Plotando-se os valores obtidos em função das respectivas concentrações foi obtida a curva de calibração em uma reta com excelente ajuste linear ($R^2 = 0,9966$). A equação associada à curva de calibração foi: $ABS = 0,02 + 127,4 [Eritrosina B] (g L^{-1})$

Na Figura 29 a, é possível visualizar os espectros da curva de calibração e na Figura 29 b a reta de ajuste da curva de calibração. O valor de R^2 indica que a reta está bem ajustada aos dados. Além disso, em baixas concentrações (<0,001 g/L) há pouca mudança na absorvância, no entanto em maiores concentrações (>0,001 g/L), de um ponto para o outro a absorvância tem um significativo aumento.

Figura 29 Eritrosina B nas concentrações 0,0002; 0,0004; 0,0006; 0,0008; 0,001; 0,002; 0,004; 0,006; 0,008 e 0,01 g/L. a) Espectros UV-Vis de Eritrosina B e b) Curva de calibração.



Fonte: Autoria Própria, 2025

5.4 Comparação dos resultados

Os resultados obtidos neste estudo foram comparados com a literatura (Tabela 6). Nesta tabela está indicado um resumo dos principais parâmetros otimizados nesse estudo em comparação com alguns dos resultados obtidos por outros autores.

Tabela 6 Principais parâmetros otimizados para a degradação de Eritrosina B comparados com a literatura.

Tipo de catalisador	[Catalisador] (g/L)	[Eritrosina B] (g/L)	pH	η fotólise (%)	η fotocatalise (%)	Lâmpada	Referência
SnO ₂					43,03 ^a	Lâmpada tungstênio de 200 W	Panchal et al., 2014
Fe-SnO ₂	0,10	0,008	8,5	-	47,10 ^b		
TiO ₂ 325 mesh ^c + H ₂ O ₂	0,08	0,079	5,7	-	91,2 ^e	Lâmpada UV de 6 W (254 nm)	Jain e Sikarwar, 2010
-	-			8,3 ^d	-		
ZnO ^f					76,0 ^g	Lâmpada UV-C de 254 nm	Brahim et al., 2021
ZnO ^f + H ₂ O ₂	2,00	0,0525	5,3	-	72,0 ^h		
TiO ₂ P25 ⁱ	1,00			-	48,3 ^k	Lâmpada UV a de 15 W (254 nm)	Este trabalho
-	-	0,010	7,0	39,8 ^j	-		

a) 2h e 40min; b) 2h e 20min; c) Anatase; d) 3h e 0min; e) 3h e 0min; f) nanocristalino; g) 4h e 0min; h) 1h e 0min; i) aeróxido P25 (80% anatase e 20% rutilo); j) 5h e 0min; k) 2h e 15min

Fonte: Autoria Própria, 2025

Os resultados indicam que a melhor degradação ocorreu nos estudos de Jain e Sikarwar (2010), apresentando 91,2% de degradação. No entanto, os parâmetros

utilizados pelos autores foram divergentes dos utilizados neste trabalho. Durante a condução dos experimentos foi utilizado o catalisador (Anatase TiO_2 325) em conjunto com a aplicação de H_2O_2 no sistema, que visa aumentar disponibilidade do radical hidroxila ($\bullet\text{OH}$ - agente oxidante). Além disso, a solução esteve sob efeito da fotocatalise durante 3h. Ou seja, neste estudo houve a modificação de parâmetros que maximizaram a eficiência da degradação de Eritrosina B. Já em relação à fotólise os autores obtiveram uma degradação de apenas 8,3% após 3 horas de experimento, o que foi bastante inferior ao obtido no presente trabalho, já que foi obtido uma degradação de Eritrosina B de 39,8% após 5 horas.

Ademais, outro estudo que apresentou alta eficiência durante a degradação foi o de Brahim et al. (2021), em que se empregou a adição de ZnO para aumentar a eficiência, foram utilizados 2,0 g/L de catalisador, o dobro do adotado neste trabalho. Ainda, o estudo de Brahim e colaboradores apresentou resultados satisfatórios ao utilizar H_2O_2 , para aumento de eficiência, chegando a 72% em apenas 1h de experimento.

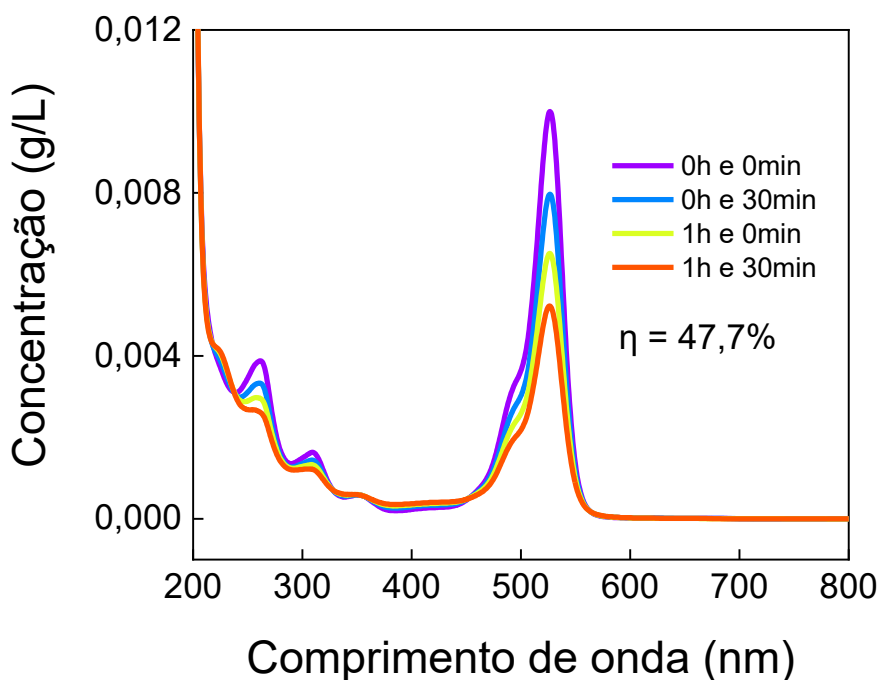
Cabe pontuar que em cada um dos estudos analisados nesse tópico foi otimizado um pH diferente. O que possivelmente ocorreu porque em cada um dos experimentos foi aplicada uma variante e uma massa de catalisador diferente.

Por fim, apesar da fotocatalise ter tido uma eficiência inferior aos trabalhos já desenvolvidos na literatura, é importante destacar que no método proposto não foi utilizado H_2O_2 , o que torna o método mais sustentável e amigável, uma vez que o peróxido de hidrogênio é tóxico especialmente em altas concentrações.

5.5 Perspectivas Futuras

Com o intuito de analisar qual seria o efeito ao utilizar lâmpadas combinadas durante o processo de fotólise foi realizado um estudo com 1h e 30min de exposição sob a irradiação de duas lâmpadas. As Lâmpadas utilizadas foram: Osram 254 nm (15 W) e Helios Quartz 254 nm e 2% de 185 nm (21W). Os resultados preliminares constam na Figura 30 e na Tabela 7.

Figura 30 Espectros UV-Vis de Eritrosina B sob a fonte de radiação de 254 nm + 185 nm em água destilada. Resultados obtidos em intervalos de 30 minutos.



Fonte: Aatoria Própria, 2025

Tabela 7 Comparação entre os resultados de eficiência de degradação da Eritrosina B utilizando diferentes fontes de irradiação UV e o mesmo período de exposição.

Características da lâmpada	Tempo de exposição (min)	Eficiência de degradação (%)
254 nm e potência de 15W	90	11,7
254 + 185 nm e potência de 21W	90	47,7

Fonte: Aatoria Própria, 2025

Analisando os resultados obtidos, é perceptível que com a utilização da lâmpada combinada (emissão em 254 + 185 nm) a eficiência foi significativamente superior (mais de quatro vezes maior) em relação a obtida no cenário otimizado para a fotólise, utilizando a lâmpada com emissão em 254 nm (respectivamente 47,7% e 11,7%)

chegando à porcentagem de degradação próxima a obtida no cenário otimizado e com a adição de dióxido de titânio (48,3%). Cabe pontuar que este estudo preliminar foi realizado em água destilada e sem controlar os parâmetros, o que indica que sua eficiência ainda pode ser maximizada.

6 CONCLUSÕES

Em síntese, o desenvolvimento deste trabalho buscou entender, com base na modificação de parâmetros como pH, concentração de catalisador e formas cristalinas dióxido de titânio ou misturas entre elas, qual a situação traria melhor eficiência para a degradação do corante Eritrosina B.

Os resultados observados indicam que pHs neutros a levemente básicos (7,0 e 8,0) apresentam a melhor eficiência para degradação. No entanto o pH 7,0 foi mais eficiente, se for levado em conta todos os parâmetros analisados, tanto na fotólise quanto na fotocatalise. Além disso, a variante do dióxido de titânio P25 (mistura entre anatase e rutilo) foi a que apresentou resultados mais significativos na degradação. Essa mistura de dióxido de titânio foi especialmente desenvolvida para favorecer os processos catalíticos.

No que diz respeito a concentração de catalisador, a que apresentou maior taxa de degradação foi a de 10,0 g/L, entretanto sua taxa de degradação foi relativamente próxima em relação a concentração 10 vezes menor (1,0 g/L). Isso pode ocorrer por conta da saturação do meio ao utilizar uma massa maior de catalisador. Ademais, as revisões bibliográficas indicam que a mudança de outros parâmetros como temperatura e concentração da solução inicial de corante podem também influenciar diretamente na eficiência da degradação, no entanto, esses parâmetros não foram modificados durante a condução destes experimentos. Cabe salientar que resultados diferentes aos observados nesse trabalho podem ser obtidos ao utilizar outras concentrações de solução estoque contendo Eritrosina B, ou outros tipos ou misturas de dióxido de titânio ou ainda até outros tipos de óxidos catalisadores.

Dessa forma, conclui-se que os resultados obtidos podem ser relevantes em diferentes contextos relacionados à geração de efluentes contendo Eritrosina B, um corante sintético amplamente utilizado. Isso reforça a importância de aplicar tais métodos para enfrentar os desafios ambientais associados à poluição de ecossistemas por corantes artificiais e outros compostos de difícil degradação.

Espera-se que resultados mais eficientes sejam obtidos ao se utilizar por

exemplo, uma lâmpada com fonte de radiação combinada para degradação do corante objeto de estudo deste trabalho. Essa é uma perspectiva futura, de avaliar o uso de lâmpada combinada (254 + 185 nm) e comparar seus resultados aos obtidos nesse estudo (com até 5h de experimento).

7. REFERÊNCIAS

AMAKIRI, K.T.; CANON, A. R.; MOLINARI, M.; ANGELIS-DIMAKIS, A. Review of oilfield produced water treatment technologies', *Chemosphere*, v. 298, 134064, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134064>>. Acesso em: 02 de abr. de 2025.

AMETA, R.; PRAJAPATI, D. I. Synthesis, Characterization and application of nano-sized barium chromate for degradation of Erythrosine B. *Sadguru Publications*, v. 14, n.4, p. 2553-2565. 2016. Disponível em:<<https://www.tsijournals.com/articles/synthesis-characterization-and-application-of-nanosized-barium-chromate-for-degradation-of-erythrosine-b.pdf>>. Acesso em: 01 de mai. de 2025.

ANASTÁCIO, L. *et al.* Corantes Alimentícios Amarantho, Eritrosina B e Tartrazina, e seus possíveis Efeitos Maléficos à Saúde Humana. *Journal of Applied Pharmaceutical Sciences*, p. 16-30, 2016.

ARAÚJO, K. S.; ANTONELLI, R.; GAYDECZKA, A. C. G.; GEOFFROY, R. P. M. *Processos Oxidativos Avançados: uma revisão de fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais urbanas e efluentes industriais*. *Ambiente & Água*, v. 11, n. 2, p. [colocar número de páginas se disponível], Taubaté, abr./jun. 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1862>>. Acesso em: 20 abr. 2024.

BACCARO, A. L. B.; CORDON, L. D.; NISHIMURA, F. G.; GUTZ, I. G. R. Fotocatálise mediada por TiO₂ no estado nanoparticulado: Revisão da reatividade pelo conceito de traps e algumas aplicações químicas analítica. *Quimica Nova*, v. 42, n. 3, pg. 329-345, 2019.

BENVENUTI, T. *et al.* Evaluation of direct Photolysis, Electrooxidation and Photoelectrooxidation for Rhodamine-B Degradation. *Brazilian journal of chemical engineering*, v. 35, n. 3, p. 957-968, 2018. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/bjce/a/3sWc5CXLbFVDqjnYJbTDvJy/>>. Acesso em: 10 de Abril de 2025.

BRAHIM, I. O.; BELMEDANI, M.; HADOUN, H.; BELGACEM, A. The photocatalytic degradation kinetics of food dye in aqueous solution under UV/ZnO system. *Reaction Kinetics, Mechanisms and Catalysis*, v.133, p. 1-21, 2021. Disponível em:<

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11144-021-02006-8> >. Acesso em 20 de abr. de 2025.

BROWN, D. Effects of colorants in the aquatic environment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v.13, n. 2, p. 139-147, 1987.

CAO, Y.; MA, Q.; CHU, B.; HE, H. Homogeneous and heterogeneous photolysis of nitrate in the atmosphere: state of the Science, current research need, and future prospects. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, v.17, n. 48, 2023. Disponível em: < Homogeneous and heterogeneous photolysis of nitrate in the atmosphere: state of the science, current research needs, and future prospects | *Frontiers of Environmental Science & Engineering* >. Acesso em: 10 de maio de 2025.

COSTA, M. P. D.; PANCOTTO, J. V. S.; ALCÂNTARA, M. A. K.; CAVALCANTI, A. S.; GUIMARÃES, O. L. C.; FILHO, H. J. I. *Combinação de processos oxidativos fotoirradiados por luz solar para tratamento de percolado de aterro sanitário: catálise heterogênea (TiO₂) versus catálise homogênea (H₂O₂)*. *Revista Ambiente & Água*, v. 8, n. 1, p. 291-306, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1063>>. Acesso em: 02 de abr. 2025.

DANA, S.; DEY, P.; PATIL, S. A.; BAIDYA, M. Enhancing Ru(II)-Catalysis with Visible-Light-Mediated Dye-Sensitized TiO₂ Photocatalysis for Oxidative C-H Olefination of Arene Carboxylic Acids at Room Temperature. *Chemistry, an Asian journal*, v. 15, n. 5, p. 564–567, 2020. Disponível em: <<https://aces.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asia.201901718> >. Acesso em 01. Mai de 2025.

DAS CHAGAS, C. C. *Processos Oxidativos Avançados: revisão dos POA's aplicados ao tratamento de efluentes*. 2022. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/46153/1/ProcessosOxidativos_Chagas_2022.pdf>. Acesso em: 15 abr. 2025.

DI PAOLA, A.; GARCÍA-LÓPEZ, E.; MARCÍ, G.; PALMISANO, L. A Survey of photocatalytic materials for environmental remediation. *Journal of Hazardous Materials*, v. 211, n.1, p. 03-29, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411014294?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=92fae3fe8dff7e0a >. Acesso em: 02 de abr. 2025.

EDDY, D. R. et al. Heterophase Polymorph of TiO₂ (Anatase, Rutile, Brookite, TiO₂ (B)) for Efficient Photocatalyst: Fabrication and Activity. *Nanomaterials*, v. 13, n. 1, p. 704-735, 2023. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2079-4991/13/4/704>>. Acesso em: 10 de Maio de 2025.

FIGLIARO, M.; SANTOS, E. P.; SCHMACHTENBERG, N. Processos Oxidativos

avanzados: fundamentos e aplicação ambiental. *Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Digital*, v. 18, n. 1, p. 79-91, 2014. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/index.php/reget/article/view/10662>>. Acesso em: 01 de abr. de 2025.

GHALI, M.; BENTIFA, M.; BRAHMI, C.; ELBASSI, L.; DUMUR, F.; SIMONNET-JÉGAT, C.; BOUSSELMI, L.; LALEVÉR, J. LED and solar photodecomposition of erythrosine B and rose Bengal using H₃PMo₁₂O₄₀/polymer photocatalyst. *European polymer journal*, v. 159, n. 110743, p. 110743, 2021. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014305721004778>>. Acesso em: 01 de abr. 2025.

GIMENO, O.; GARCÍA-ARAYA, J. F.; BELTRÁN, F. J.; RIVAS, F. J.; ESPEJO, A. Removal of emerging contaminants from a primary effluent of municipal wastewater by means of sequential biological degradation-solar photocatalytic oxidation process. *Chemical Engineering Journal*, v. 290, n. 1, p. 12-20, 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1385894716000279?ref=pdf_download&fr=RR-2&rr=92fc52d98abe7de8>. Acesso em: 02 de abr. 2025.

GONDA, Z. *et al.* Erythrosine B catalyzed visible-light photoredox arylation–cyclization of N-alkyl-N-aryl-2-(trifluoromethyl)acrylamides to 3-(trifluoromethyl)indolin-2-one derivatives. *European journal of organic chemistry*, v. 2017, n. 15, p. 2112–2117, 2017.

HAGGERTY, J. E. S.; *et al.* High-Fraction brookite films from amorphous precursors. *Scientific Reports*, v. 7, n.1, p. 01-11, 2017. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/s41598-017-15364-y>>. Acesso em: 02 de abr. 2025.

HASNAT, M. A.; UDDIN, M. M.; SAMED, A. J. F.; ALAM, S. S.; HOSSAIN, S. Adsorption and photocatalytic decolorization of a synthetic dye erythrosine on anatase TiO₂ and ZnO surfaces. *Journal of Hazardous Materials*, v.147, n.1, pg. 471-477, 2007. Disponível em: < Adsorption and photocatalytic decolorization of a synthetic dye erythrosine on anatase TiO₂ and ZnO surfaces - ScienceDirect >. Acesso em: 30 de maio de 2025.

JAIN, R.; SIKARWAR, S. Semiconductor-mediated photocatalyzed degradation of erythrosine dye from wastewater using TiO₂ catalyst. *Environmental Technology*, v. 32, n. 12, pg. 1403-1410, 2010. Disponível em: < Semiconductor-mediated photocatalyzed degradation of erythrosine dye from wastewater using TiO₂ catalyst: Environmental Technology: Vol 31, No 12 >. Acesso em: 30 de maio de 2025.

JIANG, H.; CHEN, H.; DUAN, Z.; HUANG, Z.; WEI, K. (2023). Research progress and trends of biochar in the field of wastewater treatment by electrochemical advanced oxidation processes (EAOPs): A bibliometric analysis. *Journal of Hazardous Materials Advances*, v. 10, n.1, p. 100305, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.hazadv.2023.100305>>. Acesso em: 01 de Maio de 2025

KANWAL, A.; REHMAN, R.; MUHAMMAD, I.; SAMIN, G.; JAHANGIR, M. M.; ALI, S. Phytoremediative adsorption methodologies to decontaminate water from dyes and organic pollutants. *Royal Society of Chemistry*, v. 13, n. 1, p. 26455-26474, 2023. Acesso em: < <https://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2023/ra/d3ra02104a>>. Acesso

KEEN, O. S.; MCKAY, G.; MEZYK, S. P.; LINDEN, K. G.; ROSARIO-ORTIZ, F. L. Identifying the factors that influence the reactivity of effluente organic matter with hydroxyl radicals. *Water Research*, v.50, n.1, pg. 408-419, 2014. Disponível em:< Identifying the factors that influence the reactivity of effluent organic matter with hydroxyl radicals - ScienceDirect>. Acesso em: 10 de abril de 2025.

KHAN, S.; NOOR, T.; LQBAL, N.; YAQOUB, L. Photocatalytic Dye Degradation from Textile Wastewater: A Review. *ACS Omega*, v. 9, n. 1, p. 21751-21767, 2024. Disponível:
https://pubs.acs.org/doi/epdf/10.1021/acsomega.4c00887?ref=article_openPDF. Acesso em: 26 de maio de 2025.

KIANIPOUR, S. *et al.* The synthesis of the P/N-type NdCoO₃/g-C₃N₄ nano-heterojunction as a high-performance photocatalyst for the enhanced photocatalytic degradation of pollutants under visible-light irradiation. *Arabian journal of chemistry*, v. 15, n. 6, p. 103840, 2022.

KOBYLEWSKI, S. *Food Dyes: A Rainbow of Risks*. Ottawa: Editora Center for Science in the Public Interest, 2010. E-book.

KUMARI, P.; KUMAR, A. Advanced Oxidation Process: A remediation technique for organic and non-biodegradable pollutant. *Results in Surfaces and Interfaces*, v. 11, n. 100122, p. 100122, 2023.

LECOMPTE, C. B. *Advanced Oxidation Process – Applications, Trends, and Prospects*. London: Editora IntechOpen, 2020.

LI, R.; LI, T.; ZHOU, Q. Impact of Titanium Dioxide (TiO₂) Modification on its Application to Pollution Treatment – A review. *Catalysts*, v. 10, n. 07, p. 01-32, 2020. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4344/10/7/804?type=check_update&version=2. Acesso em: 02 de abr. 2025.

LIN, J. *et al.* Environmental impacts and remediation of wastewater containing dyes. *Nature reviews. Earth & environment*, v. 4, n. 11, p. 785–803, 2023.

LOHAR, S.; PRAJAPATI, D. K.; SHARMA, A.; BHARDWAJ, S. Wasterwater treatment using nanomaterial quaternary photocatalyst ZrCdPbO₄ – Removal of colour pollutant by an eco friendly process. *Journal of the Indian chemical Society*, v.98, n. 11, pg. 100194, 2021. Acesso em:< Wasterwater treatment using nanomaterial quaternary photocatalyst ZrCdPbO₄ - Removal of colour pollutant by an eco friendly process - ScienceDirect >. Acesso em: 30 de maio de 2025.

MARMITT, S.; PIROTTA, L. V.; STÜLP, S. Aplicação de fotólise direta e UV/H₂O₂ efluente sintético contendo diferentes corantes alimentícios. *Quimica Nova*, v. 33, n. 2, pg. 384-388, 2010. Disponível em: <scielo.br/j/qn/a/hjrnFxfjWHdnBZxgMtg7DYTM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 de abril de 2025.

MARQUEA, S. G.; OLIVEIRA, E. M. Degradação de fármacos por processo oxidativo avançado baseado em fotólise de H₂O₂ (H₂O₂/UV). *Technology Science*, v. 4, n.1, p.01-11, 2022. Disponível em: <https://www.sapientiae.com.br/index.php/technologysciences/article/view/170/157>. Acesso em: 01 de abr. de 2025.

MICHAEL, I.; HPESHI, E.; OSORIO, V.; PEREZ, S.; PETROVIC, M.; ZAPATA, A.; MALATO, S.; BARCELÓ, D.; FATTA-KASSINOS, D. Solar photocatalytic treatment of trimethoprim in four environmental matrices at a pilot scale: transformations products and ecotoxicity evaluation. *Science of The Total Environment*, v. 403, n., pg. 167-173, 2012. Disponível em: < Solar photocatalytic treatment of trimethoprim in four environmental matrices at a pilot scale: Transformation products and ecotoxicity evaluation - ScienceDirect>. Acesso em: 10 de abril de 2025.

MILLER, M. D. *et al.* Potential impacts of synthetic food dyes on activity and attention in children: a review of the human and animal evidence. *Environmental health: a global access science source*, v. 21, n. 1, 2022.

MOREIRA, O. B. O.; CASTRO, L. A.; OLIVEIRA, M. A. L. Cálculo e Preparo de Soluções Tampão: Guia Completo usando o Software Peakmaster. *Quimica Nova*, v. 44, n.6, pg. 783-791, 2021.

MOZIA, S. Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water and wastewater treatment. A review. *Separation and Purification Technology*, v.73, n. 2, pg. 71-91, 2010. Disponível em: < Photocatalytic membrane reactors (PMRs) in water and wastewater treatment. A review - ScienceDirect>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

NAVIDPOUR, A. H.; ABBASI, S.; LI, D.; MOJIRI, A.; ZHOU, J. L. Investigation of Advanced Oxidation Process in the Presence of TiO₂ Semiconductor as Photocatalyst: Property, Principle, Kinetic Analysis, and Photocatalytic Activity. *Catalysts*, v. 13, n.1, p. 232, 2023. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2073-4344/13/2/232> >. Acesso em: 25 de Maio de 2025.

PANCHAL, S.; JHALA, Y.; SONI, A.; VYAS, R. Photocatalytic Degradation of Erythrosin-B in the Presence of Tin Dioxide. *Acta Chimica & Pharmaceutica Indica*, v. 4, n. 1, p. 68-77, 2014. Disponível em: < <https://www.tsijournals.com/articles/photocatalytic-degradation-of-erythrosinb-in-the-presence-of-tin-dioxide.pdf>>. Acesso em: 01 de mai. de 2025.

PEREIRA, L. A; MADALENA, S. A. Dyes-Environmental Impact and Remediation. *In:*

MALIK, A.; GROHMANN, E. (eds). Environmental Protection Strategies for Sustainable Development. Berlim: Editora Springer, 2012. E-book.

PEREIRA, L. *et al.* UV/TiO₂ photocatalytic degradation of xanthene dyes. Photochemistry and photobiology, v. 89, n. 1, p. 33–39, 2013.

PELLOSI, Diogo Silva. *Estudos físico-químicos do corante Eritrosina B e seus derivados ésteres visando aplicações fotodinâmicas*. 2012. 127 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3893>. Acesso em: 5 jul. 2025.

PIGNATELLO, J. J.; OLIVEROS, S. E.; MACKAY, A. Advanced oxidation processes of organic contaminant destruction based of the Fenton reaction and related chemistry. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 36, p. 1-84, 2006. <http://dx.doi.org/10.1080/10643380500326564>

PUBCHEM. Banco de Dados de Substâncias Perigosas (HSDB): 869 . Disponível em: <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/source/hsdb/869>>. Acesso em: 12 jul. 2024.

QI, K.; IMPARATO, C.; ALMJASHEVA, O; KHATAEE, A.; ZHENG, W. TiO₂-based photocatalysts from type-II to S-scheme heterojunction and their applications. Journal of Colloid and Interface Science, v. 675, n.1, pg. 150-191, 2024. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021979724014516>>. Acesso em: 10 de maio de 2025.

QIN, Y.Y.; LI, H.; LU, J.; MENG, F.Y.; MA, C.C.; YAN, Y.S.; MENG, M.J. Nitrogen-doped hydrogenated TiO₂ modified with CdS nanorods with enhanced optical absorption, charge separation and photocatalytic hydrogen evolution. Chem. Eng. J. 2020, 384, 123275.

RIBAS, F. B. T.; SILVA, W. L. Biossorção: uma revisão sobre métodos alternativos promissores no tratamento de águas residuais. Revista Matéria, v. 27, n.2, 2022. Disponível em:< <https://www.scielo.br/j/rmat/a/JpJN3hnjFDNgJKkrWdpL8fH/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 01 de abr. de 2025.

RIBEIRO, J. P.; ABDALA, E. F.; PARENTE, T. C.; NASCIMENTO, R. F.; BARROS, A. L.; OLIVEIRA, A. G.; BARROS, F. C. F. Princípios Básicos. (2017). Processos Oxidativos Avançados: Fundamentos e Aplicações em Matrizes Ambientais. Imprensa Universitária, 11-40. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/32127>.

SANTIAGO. V. H. O.; VASQUEZ, K. J. F.; DE LIMA, M. C.; MEIRELES, C. S.; ANDRADE, G. R. S. Processos Oxidativos Avançados no Tratamento de Efluentes: Tendências Recentes e Análise Bibliométrica. Brazilian Journal of Production Engineering, v. 10, n. 4, p. 267-283, 2024. Disponível em: <https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/46204>. Acesso em: 02 de Maio de 2025.

SAVOIA, J. E. C.; MARQUES, R. G.; RIBEIRO, V. A. S. Reutilização de resíduos sólidos têxteis como suporte para fotocatalisadores para o tratamento de efluentes contendo corantes. Fórum Ambiental da Alta Paulista, v.20, n.2, p. 162-172, 2024. Disponível em: <https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/4202/4911>. Acesso em: 01 de abr. de 2025.

SCHNEIDER, J.; MASAYA, M.; TEKEUCHI, M.; ZHANG, J.; HORIUCHI, Y.; ANPO, M.; BAHNEMANN, D. W. Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials. Chemical Reviews, v 114, n. 19, pg. 9919-9986, 2014. Disponível em: < Understanding TiO₂ Photocatalysis: Mechanisms and Materials | Chemical Reviews>. Acesso em: 10 de abril de 2025.

SIGMA-ALDRICH. Erythrosine B. Disponível em: <https://www.sigmaaldrich.com/BR/pt/search/erythrosine-b?focus=products&page=1&perpage=30&sort=relevance&term=erythrosine-b&type=product_name>. Acesso em: 26 nov. 2024.

SILVA, M. C. R. S.; BARROS, J. C. A.; DE AGUIAR, A. M. A.; NETO, J. F. A.; DA SILVA, R. F. DA SILVA, G. L. Avaliação dos impactos ambientais no tratamento de efluentes têxteis que utilizam processos oxidativos avançados (POA): revisão da literatura sob a ótica da análise de ciclo de vida. Revista Semiárido de Visu, v. 11, n.2, p. 398-416, 2023. Disponível em: < <https://semiaridodevisu.ifsertao-pe.edu.br/index.php/rsdv/article/view/603/455>>. Acesso em: 01 de abr. de 2025.

SILVEYRA, R.; SÁENZ, L. L. T.; FLORES, W. A.; MARTÍNEZ, V. C.; ELGUÉZABAL, A. A. Doping of TiO₂ with nitrogen to modify the interval of photocatalytic activation towards visible radiation. Science direct, v. 107, n.1, p. 602-605, 2005. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092058610500427X>>. Acesso em: 02 de abr. 2025.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. Processos Oxidativos Avançados. AdOx – Grupo de Pesquisa em Processos Oxidativos Avançados, Escola Politécnica da USP, São Paulo, [s.d.]. Disponível em: <<https://sites.usp.br/adox/pesquisa/processos-oxidativos-avancados/>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

VAIANO, V.; DE MARCO, I. Removal of Azo Dyes from Wasterwater through Heterogeneous Photocatalysis and Supercritical Water Oxidation. Separations, v.10, n. 1, p. 230-254, 2023. Disponível em: < <https://www.mdpi.com/2297-8739/10/4/230>>. Acesso em: 26 de maio de 2025.

VIANA JÚNIOR, A. M.; ALTOÉ, L.; ANTUNES, P. A. S. B. M.; PEREIRA JÚNIOR, A. A. M. Principais métodos de tratamento da água produzida em unidades marítimas de produção de petróleo. Latin American Journal of Energy Research, v. 10, n. 1, p. 23-32, 2023. Disponível em: < <https://periodicos.ufes.br/lajer/article/view/41054>>. Acesso em

27 de abr. de 2025.

VISWANATHAN, B. Photocatalytic Degradation of Dyes: An Overview. *Current Catalysis*, v. 7, n. 1, p. 0-25, 2017. Acesso em: < https://www.researchgate.net/publication/321931836_Photocatalytic_Degradation_of_Dyes_An_Overview>. Acesso em: 20 de Abril de 2025.

WANG, X. *et al.* Photocatalytic removal of sulfamethoxazole using yeast biomass-derived NixP/biocarbon composites in the presence of dye sensitizer. *Journal of environmental chemical engineering*, v. 10, n. 3, p. , 2022.

World Health Organization. Disponível em: <<https://apps.who.int/food-additives-contaminants-jecfa-database/Home/Chemical/503>>. Acesso em: 23 jun. 2024.

YE, T.; QI, W.; AN, X.; LIU, H.; QU J. Faceted TiO₂ photocatalytic degradation of anthraquinone in aquatic solution under solar irradiation. *Sci Total Environ*, 2019. 688: p. 592-599. Disponível: < <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896971932892X> >. Acesso em: 30 de maio de 2025.

ZANGENEH, H.; ZINATIZADEH, A. A. L.; HABIBI, M.; AKIA, M.; HASNAIN ISA, M. *Photocatalytic oxidation of organic dyes and pollutants in wastewater using diferente modified Titanium dioxides: A comparative review*. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v.26, n. 1, p. 01-36, 2015. Disponível em: < https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1226086X14005838?fr=RR-2&ref=pdf_download&rr=92fc52d98abc7de8 >. Acesso em: 02 de abr. 2025.

ZANONI, M. V. B.; YAMANAKA, H. Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento. Rio de Janeiro: Editora Unesp, 2016. E-book.

ŽERJAV, G. *et al.* Brookite vs. rutile vs. anatase: What's behind their various photocatalytic activities?. *Journal of environmental chemical engineering* , v. 10, n. 3, p. , 2022. Disponível em:< <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343722005954> >. Acesso em: 01 de abr. 2025.