



**INSTITUTO
FEDERAL**
Piauí

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ CAMPUS
TERESINA CENTRAL
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA**

RAINAIRA RODRIGUES DOS SANTOS

DEGRADAÇÃO DE TARTRAZINA VIA PROCESSO ELETRO-FENTON: uma
proposta de prática experimental para o ensino investigativo de química no ensino
médio

TERESINA

2026

RAINAIRA RODRIGUES DOS SANTOS

DEGRADAÇÃO DE TARTRAZINA VIA PROCESSO ELETRO-FENTON: uma
proposta de prática experimental para o ensino investigativo de química no ensino
médio

Trabalho de Conclusão de Curso (artigo científico) apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de licenciatura em química do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus teresina central.

Orientador: Prof^a. Me André Luís Castro de Sales.

Coorientador: Prof. Me. Thayson Rodrigues Lopes.

TERESINA

2026

DEGRADAÇÃO DE TARTRAZINA VIA PROCESSO ELETRO-FENTON: UMA PROPOSTA DE PRÁTICA EXPERIMENTAL PARA O ENSINO INVESTIGATIVO DE QUÍMICA NO ENSINO MÉDIO

Rainaira Rodrigues dos Santos¹
Me André Luís Castro de Sales²

RESUMO

A pesquisa em educação alinhada à prática docente constitui uma área de estudo importante, pois desempenha um papel crucial na atualização e no aprimoramento das metodologias de ensino. Diante disso, este estudo apresenta potencialidades da experimentação investigativa como uma metodologia para a construção do conhecimento científico. Desse modo, este trabalho pretende desenvolver, refletir e apresentar uma proposta de atividade experimental investigativa para o ensino de química no ensino médio a partir da descontaminação de água contendo o corante amarelo de Tartrazina por processo Eletro-Fenton e avaliar a eficácia do tratamento quanto à toxicidade residual. Para isso, foi realizada a adaptação do processo do tipo Fenton e do teste de fitotoxicidade, utilizando materiais de baixo custo, assegurando assim a reprodutibilidade em sala de aula. Nesse estudo, foi avaliado o índice de germinação das sementes de alface em amostras de água tratada e não tratada e controles. Com base nos resultados, constatou-se a remoção da coloração do corante na amostra ao nível macroscópico. Entretanto, os testes revelaram níveis significativos de toxicidade, demonstrando que a eliminação da cor não foi suficiente para reduzi-la. Esse resultado sugere que a toxicidade dos corantes azo, como a Tartrazina, não está necessariamente na molécula, original, mas nos produtos de sua degradação. As principais conclusões indicam a importância de combinar diferentes métodos para a remoção desses subprodutos. Além disso, verificou-se que a atividade experimental sugerida é replicável em escolas, mesmo sem laboratório, devido ao baixo custo dos materiais e reagentes utilizados.

Palavras-chave: processos oxidativos avançados; experimentação no ensino de química; descontaminação de água.

ABSTRACT

Research in education aligned with teaching practice constitutes an important area of study, as it plays a crucial role in updating and improving teaching methodologies. Therefore, this study presents the potential of investigative experimentation as a methodology for the construction of scientific knowledge. Thus, this work aims to develop, reflect upon, and present a proposal for an investigative experimental activity for teaching chemistry in high school, based on the decontamination of water containing the yellow dye tartrazine using the Electro-Fenton process, and also to evaluate the effectiveness of the treatment regarding residual toxicity. To this end, the Fenton process and the phytotoxicity test were adapted using low-cost materials,

thus ensuring reproducibility in the classroom. In this study, the germination rate of lettuce seeds was evaluated in samples of treated and untreated water and controls. Based on the results, the removal of the dye's color from the sample was observed at the macroscopic level. However, the tests revealed significant levels of toxicity, demonstrating that the elimination of the color was not sufficient to reduce it. This result suggests that the toxicity of azo dyes, such as tartrazine, is not necessarily in the original molecule, but in the products of its degradation. The main conclusions indicate the importance of combining different methods for the removal of these byproducts. Furthermore, it was found that the suggested experimental activity is replicable in schools, even without a laboratory, due to the low cost of the materials and reagents used.

Keywords: Advanced oxidation processes; experimentation in chemistry education; water decontamination.

Data de aprovação: 23/02/2026

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o desenvolvimento econômico e o progresso tecnológico de diversos países têm sido amplamente associados aos altos investimentos direcionados a pesquisas científicas. Em especial, a pesquisa voltada à educação contribui significativamente para a melhoria do ensino, promovendo transformações positivas frente aos desafios encontrados nesse contexto. Diante das dificuldades relacionadas ao processo de ensino e aprendizagem, a pesquisa assume um papel fundamental, pois apresenta alternativas como estratégias e ferramentas eficazes para apoiar esse processo. Nesse sentido, dentre as contribuições para a pesquisa e o ensino de química, destaca-se a investigação dos processos de ensino aprendizagem que resultam na construção do conhecimento químico no contexto escolar, além de reflexões sobre “o que”, “como” e “por que” ensinar Química. (Bedin *et al.*, 2020). O caráter abstrato da química e sua linguagem característica são apontados como uma das principais razões dos alunos apresentarem dificuldades em relação à aprendizagem dos

¹ Rainaira Rodrigues dos Santos; Licenciatura em química; Instituto Federal do Piauí - IFPI; catce.2021111lqui20@aluno.ifpi.edu.br.

² Me André Luís Castro de Sales, Instituto Federal do Piauí – IFPI Instituição de ensino. and.csales@ifpi.edu.br. <http://lattes.cnpq.br/4080324415932157>

conteúdos (Teruya *et al.*, 2013). Além disso, o que se observa é que, dentro da esfera de formação, para sanar esse problema, emergem questões como a promoção do conhecimento de forma dinâmica, de modo a tornar o ensino transversal e não linear (Santos; Menezes, 2020). Esse dinamismo vai contra a apropriação do conteúdo como algo pronto e acabado. Assim, é preciso moldar esse conhecimento de forma que ele tenha continuidade e aprofundamento. Tudo isso é capaz de romper uma mera reprodução do conteúdo e avançar no sentido de desenvolver estratégias voltadas para a reflexão e resolução de problemas, na prática.

A contextualização dos conteúdos de química por meio de tópicos, como processos químicos e seu impacto ambiental, estimula um papel relevante da educação em relação à sociedade que é a formação de cidadãos e futuros profissionais com senso de responsabilidade para com o meio ambiente, promovendo a consciência sobre os impactos das ações individuais e coletivas no meio ambiente (Morales; Sáenz-López; Perez, 2024).

Nesse contexto, a abordagem contemporânea das questões ambientais intensifica o debate sobre o impacto de diversas indústrias no meio ambiente (Maria Reck; Manesco Paixão, 2016). Diante disso, os setores têxtil e alimentício destacam-se como grandes geradores de efluentes industriais ricos em corantes, compostos orgânicos, que, quando descartados inadequadamente, comprometem a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Dessa forma, o tratamento de água residual tem sido foco de estudo uma vez que os recursos hídricos estão cada vez mais escassos, principalmente em algumas áreas (Alsukaibi, 2022).

Dentre as diversas tecnologias disponíveis, destacam-se os processos de coagulação, floculação, oxidação eletroquímica e degradação fotocatalítica, por serem amplamente utilizados. No entanto, os processos de oxidação têm se destacado devido à sua facilidade de uso e alta eficiência na degradação de uma ampla gama de contaminantes, o que os torna uma das tecnologias emergentes mais eficientes no tratamento de águas residuais (Liu; Zhang; Wang, 2024). Geralmente, a oxidação pode ocorrer na presença de ozônio, hipoclorito de sódio, peróxido de hidrogênio ou até mesmo ácidos (Alsukaibi, 2022).

O processo fenton clássico utiliza a combinação de peróxido de hidrogênio e íons ferrosos. Já o processo eletro-fenton possui, além desses reagentes, a

adição de um campo elétrico que aprimora essa reação, produzindo OH eletroquimicamente em condições ácidas (Jawad, 2025). O baixo valor do pH para reações do tipo Fenton é empregado para evitar a formação de lodo de hidróxido de ferro ($\text{Fe}(\text{OH})_x$) (Quispe Cardenas et al., 2023). Diante da relevância desses processos frente a causa ambiental, a sua divulgação se faz muito necessária, principalmente no contexto educacional em que são trabalhadas temáticas voltadas para o grande impacto causado por contaminantes na natureza.

Rodrigues *et al.* (2023) afirmam que os resultados de análises químicas nem sempre refletem o impacto ambiental causado pelos poluentes, uma vez que não evidenciam seus efeitos nos ecossistemas. Embora os processos oxidativos avançados possam degradar vários poluentes orgânicos presentes em águas residuárias, o processo de degradação pode resultar na produção de intermediários prejudiciais tanto quanto o composto inicial (Cardoso, 2023).

O descarte de efluentes contendo corantes de baixa biodegradação pode resultar em inúmeros problemas ambientais, entre eles o esgotamento de oxigênio dissolvido nos corpos d'água afetando principalmente a penetração da luz solar nos mananciais gerando assim o desequilíbrio dos ecossistemas (Teixeira *et al.*, 2024). Diante disso, a aplicação de testes é útil para avaliar impactos causados por efluentes dessa categoria.

De acordo com a Resolução nº 430, de 2011, do CONAMA, efluentes não podem apresentar efeito tóxico agudo aos organismos aquáticos. Nesse sentido, dentre os bioensaios disponíveis está o teste de fitotoxicidade, que tem como objetivo avaliar os efeitos das toxinas presentes no meio de cultivo de plantas de modo a identificar águas e solos contaminados por meio do índice de contaminação (Silva, 2023).

Diante do exposto, este estudo parte da seguinte questão norteadora: o processo eletro-Fenton adaptado com materiais de baixo custo é eficaz na redução da toxicidade do corante Tartrazina e pode constituir-se como uma prática experimental investigativa viável para o ensino médio?

2 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Experimentação No Ensino De Química

O currículo de química do ensino médio explora uma ampla gama de conceitos, desde noções abstratas, como os elétrons se comportando como ondas estacionárias, até fenômenos mais visíveis e cotidianos, como a formação de bolhas de sabão ou o processo de dissolução do sal de cozinha em água (Lipscher, 2023). Com isso, para além do currículo, a organização do ensino e a forma de transmissão necessitam de um planejamento com propósito lógico e crítico. Paulino et al. (2024), mencionam que o desenvolvimento integral do sujeito requer aprendizagem conceitual dos conteúdos. Logo, os autores afirmam que, ao analisar o potencial formativo voltado para o ensino de conceitos científicos, é preciso uma análise que contemple elementos estruturantes do modo de organização do ensino, os quais são descritos como conteúdo, sujeito e forma.

Um dos principais desafios na educação científica é desenvolver estratégias que incentivem o engajamento ativo e significativo dos alunos. É essencial que essas atividades integrem práticas autênticas inerentes a cada área do conhecimento, ao mesmo tempo em que promovam os padrões de raciocínio específicos que caracterizam os diferentes ramos das ciências, especialmente sob uma perspectiva científica (Moutsakis; Paschalidou; Salta, 2024).

As diferentes metodologias direcionadas para o ensino de química possuem uma organização com base na capacidade de investigação, reflexão e criação de soluções por parte do aluno, sendo o docente o principal mediador no desenvolvimento dessas habilidades (Fonseca *et al.*, 2024).

A experimentação como ferramenta metodológica é considerada, segundo Giordan (1999), parte crucial da fundamentação do conhecimento científico, uma vez que todo conhecimento adquirido faz parte de um processo de investigação. Todavia, diversas críticas têm sido levantadas acerca da forma como a experimentação vem sendo conduzida, a qual, frequentemente, é pautada por uma abordagem meramente mecânica, com roteiros rígidos e sem incentivo à pesquisa e a reflexão crítica (Gonçalves; Goi, 2020).

1.2 Desafios Atuais E Tecnologias Emergentes Para Tratamento De Água

À medida que os mercados mundiais foram crescendo, o uso múltiplo da água também teve um crescimento considerável. Tendo em vista que o uso desses recursos é fundamental para a sobrevivência da comunidade, e tudo que está subsequente a ela, como a energia, agronegócio e uma gama de indústrias, cabe destacar que é indispensável o tratamento e gerenciamento correto desse recurso (Pena; Pereira *et al.*, 2020).

Por décadas, os processos de tratamento de águas residuárias convencionais eram considerados eficientes. No entanto, com o crescente desenvolvimento de novos produtos químicos, se faz necessário a implementação de novas ou melhoradas tecnologias para o tratamento dessas águas. Diante desse cenário de novos tipos de poluentes disseminados em rios e lagos, pesquisadores têm se dedicado ao estudo de tecnologias emergentes voltadas para o tratamento de águas contaminadas e para a remoção de poluentes (Saleem *et al.*, 2024).

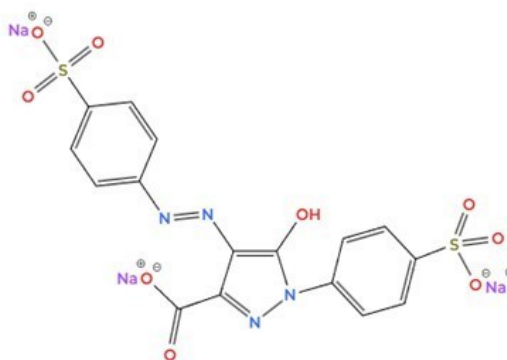
Frente a tudo isso, discussões sobre o desenvolvimento sustentável foram incluídas como uma importante pauta da Organização das Nações Unidas (ONU). O Brasil, como país-membro da ONU, aderiu à Agenda 2030, adotada em 2015, na qual estão incluídos os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). A Agenda trata de um conjunto de ações e diretrizes globais que orientam os trabalhos das Nações Unidas rumo ao desenvolvimento sustentável com implementação até o ano de 2030 (Araujo *et al.*, 2022). Nela estão inclusos e definidos os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que devem direcionar estas ações rumo a um desenvolvimento que abrange dimensões econômica, social e ambiental (Branchi, 2022).

Diante desse contexto, a sustentabilidade na gestão dos recursos hídricos implementa ações relacionadas com o uso e proteção desses recursos com base na legislação vigente, assim como monitoramento dessas ações (Branchi, 2022). Diante disso, dentre os ODS que compõem a Agenda 2030, está a “garantia da gestão sustentável da água e esgotamento sanitário para todos” (Nações Unidas, 2015).

1.3 Os Efeitos Dos Contaminantes Químicos Nas Interações Ecológicas

O corante amarelo de Tartrazina pertencente ao grupo azo possui caráter ácido, é redutível com facilidade por agentes redutores e possui pelo menos um grupo sulfonato SO_3 , o que permite uma maior solubilidade em água (Zanoni, 2016). A estrutura molecular do corante está representada abaixo.

Figura 1 - Estrutura da Tartrazina



A grande parte dos efluentes têxteis liberados nos ecossistemas consiste em corantes da categoria azóica, que é a mais extensa entre os colorantes utilizados, equivalente a cerca de 70% dos totais usados mundialmente (Santana; Couceiro; Lara, 2023). Vários desses compostos são considerados potencialmente cancerígenos, mutagênicos e prejudiciais ao meio ambiente, apresentando efeitos tóxicos que podem diferir conforme sua composição química (Pessoa Júnior; Azevedo, 2024).

A toxicidade dos corantes do tipo azo está relacionada à sua redução química que leva à formação de aminas aromáticas caracterizadas pela sua oxidação metabólica, o que resulta na geração de intermediários redutores eletrofílicos, compostos considerados mutagênicos e causadores de doenças como câncer (Ardila-Leal *et al.*, 2021).

A alta durabilidade e a solubilidade dos corantes sintéticos na água tornam ineficaz grande parte das opções de tratamento convencionais. Assim, requer-se o uso de abordagens eficazes que permitam um descarte seguro, livre de

compostos tóxicos que possam afetar, principalmente, os ecossistemas aquáticos devido ao estresse oxidativo que causam (Al-Tohamy *et al.*, 2022). Segundo Teixeira (apud Samuchiwal *et al.*, 2021), os poluentes orgânicos, incluindo corantes sintéticos, podem influenciar o processo de floração das plantas, assim a porcentagem de germinação das sementes e a altura das plantas se tornam parâmetros importantes indicando sua saúde e desenvolvimento ao serem expostas a um corante. Diante dos impactos adversos na saúde vegetal, um método eficaz de detectar contaminantes é a realização de testes.

Os testes de fitotoxicidade são instrumentos valiosos para analisar os impactos de substâncias tóxicas em sistemas biológicos, já que permitem determinar as concentrações letais de produtos químicos (Damasceno de Oliveira *et al.*, 2024). Nesse sentido, o uso de bioindicadores ou organismos de teste tem sido uma prática comum para avaliar a eficácia de sistemas de tratamento de água na remoção de toxicidade. Dentre os organismos frequentemente utilizados estão microrganismos, pseudomonas, plantas, algas, invertebrados, peixes e linhas celulares. Entre os bioindicadores citados, as plantas se destacam sendo a alface uma das mais citadas na literatura.

O uso da alface se deve a diversas características vantajosas, como o rápido crescimento e germinação, baixa exigência energética para o início do desenvolvimento das sementes, alta sensibilidade a agentes químicos e capacidade de crescimento linear em uma ampla faixa de pH além de apresentar baixo custo, facilidade de cultivo, sendo viável tanto para testes em laboratório quanto em campo (Pereira de Araújo; Giovanetti El-Deir; Gomes Tavares, 2022).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo experimental de abordagem quantitativa, com análise descritiva dos dados obtidos. Conforme Gil (2017), pesquisas experimentais envolvem manipulação de variáveis com o objetivo de analisar relações de causa e efeito. Neste estudo, avaliou-se o impacto do tratamento Eletro-Fenton sobre a toxicidade do corante Tartrazina por meio de

bioensaio com sementes de *Lactuca sativa*. Quanto à natureza dos procedimentos, este trabalho se trata de um estudo experimental. Conforme Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa experimental é pautada na escolha do objeto de estudo e também na seleção de uma ou mais variáveis que podem influenciar diretamente esse objeto.

A variável independente consistiu na condição do efluente tratado e em suas respectivas diluições (100%, 50%, 25% e 12,5%). A variável dependente foi o índice de germinação (IG), calculado a partir da porcentagem relativa de germinação (%RSG) e da porcentagem relativa de crescimento radicular (%RRG). Como variáveis controladas, mantiveram-se constantes o número de sementes por amostra, o volume de solução aplicada, o tempo de incubação e as condições ambientais.

A partir deste estudo, elaborou-se uma proposta de atividade experimental investigativa voltada para ilustrar e simular o processo de descontaminação de água por meio da remoção do corante amarelo Tartrazina, além de avaliar a eficiência do tratamento considerando a formação de subprodutos tóxicos por meio do teste de fitotoxicidade. Com base nisso, realizou-se a adaptação do processo do tipo fenton e do teste de fitotoxicidade com uso de materiais e reagentes de fácil aquisição, garantindo assim a reprodutibilidade em sala de aula.

Ressalta-se que a proposta didática apresentada constitui uma sugestão fundamentada teoricamente e validada experimentalmente em escala laboratorial, não tendo sido aplicada em contexto real de sala de aula no âmbito deste estudo.

ATIVIDADE INVESTIGATIVA

Esta atividade tem como tema principal o tratamento de águas contaminadas com corantes e a toxicologia de efluentes, abrangendo o conteúdo curricular de Eletroquímica e Ecologia, direcionado para a segunda série do Ensino Médio.

A atividade possui um viés interdisciplinar, no qual se explora a Química, focando nas reações de redução e oxidação, e a Biologia, no que se refere à Ecotoxicologia.

A proposta conta com a execução de um experimento de baixo custo, no qual é reproduzido, em escala miniaturizada, o processo de degradação do corante Amarelo Tartrazina via Processo Eletro-Fenton Heterogêneo. Além disso, a atividade propõe a realização do Teste de Fitotoxicidade para classificação qualitativa de fitotoxicidade da água.

Objetivo da atividade: Explorar e estabelecer correlações entre os princípios de oxirredução no Processo Eletro-Fenton e sua contribuição para a redução de impactos ambientais, além de realizar a coleta e análise dos dados relacionados à hipótese de que a destruição do grupo cromóforo diminui a toxicidade do efluente, bem como avaliar os parâmetros de germinação e crescimento radicular, utilizados como indicadores da toxicidade biológica, com o objetivo de quantificar a eficácia do tratamento aplicado.

1ª AULA – CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA – PROCESSO ELETRO-FENTON HETEROGÊNEO NA DESCONTAMINAÇÃO DE EFLUENTES.

A atividade pode iniciar com discussões e reflexões pertinentes sobre a contaminação de corpos d'água por diferentes corantes provenientes de processos industriais. O professor pode entregar aos alunos o reator eletroquímico montado para que explorem os itens e a coloração das amostras de água contendo o corante. A partir da observação de suas tonalidades, é possível promover um debate com os estudantes sobre a estrutura química dos corantes sintéticos do tipo azo, mencionando que são compostos orgânicos utilizados em larga escala de modo generalizado, sendo a indústria têxtil a maior consumidora, uma vez que o tingimento têxtil é uma das aplicações mais satisfatórias diante das várias aplicações dos corantes. Na sequência, é pertinente discutir acerca das tecnologias voltadas para o tratamento adequado de efluentes provenientes de processos industriais. Dentre as tecnologias aplicadas, estão os processos oxidativos avançados (POA). Ao final da aula, o roteiro do experimento que será realizado posteriormente pode ser entregue, porém, antes, os alunos serão convidados a pesquisar as seguintes questões:

Busque e liste os corantes descrito nas embalagens de alimentos da sua residência, indicando o teor de cada um sempre que especificado

Quais grupos funcionais conferem solubilidade em água e coloração ao corante Amarelo de Tartrazina?

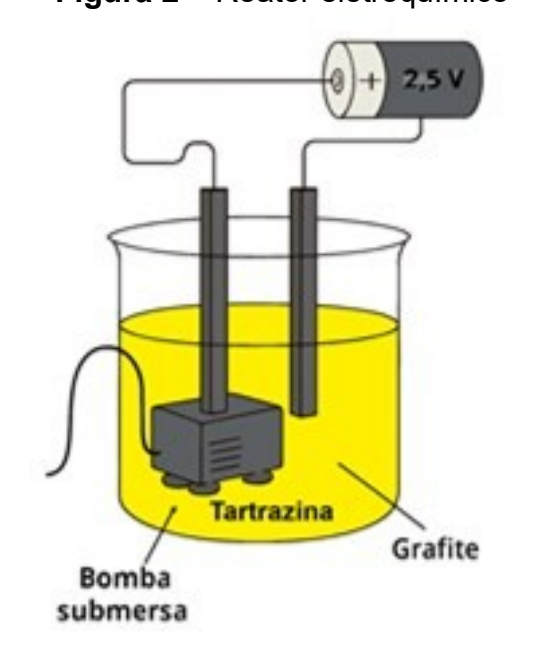
O que causou a remoção da cor? escreva características e os mecanismos dos Processos Oxidativos Avançados (POA's) baseados no Reagente de Fenton.

O que está sendo oxidado e o que está sendo reduzido para que a descoloração ocorra? O que torna o OH um oxidante tão eficiente?

Se o efluente tratado ainda for tóxico, o que o processo Eletro-Fenton não conseguiu remover? Qual seria o próximo passo para otimizar o tratamento?

REATOR ELETROQUÍMICO

Figura 2 – Reator eletroquímico



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

MATERIAIS E REAGENTES

- 1 Pilha (1.5 v)
- 1 Béquer

- 2 Lápis grafite
- 2 Fios de cobre
- 1 Corante alimentício amarelo de Tartrazina (pó)
- 350 mL de água destilada ou água de arrefecimento para automóveis
- Bomba para aquário
- Pipeta de Pasteur ou seringa de 10 mL
- Vinagre branco
- Água oxigenada comercial – Volume 20
- 2 comprimidos de Sulfato Ferroso

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para montar o reator, ligue os fios de cobre aos pólos positivo e negativo da pilha (1.5 v) e fixe a bomba submersa no fundo do béquer; em seguida, prossiga adicionando no béquer 350 mL de água destilada, 2g do corante amarelo de tartrazina, 5,0 mL de vinagre branco para ajustar o pH em 3, dois comprimidos triturados de sulfato ferroso e 3 mL de peróxido de hidrogênio (volume 20) para acelerar a reação. Em seguida, mantenha as soluções por 120 minutos, tempo necessário para a descoloração, sob agitação constante e sistema de borbulhamento de oxigênio (com uso de bomba para aquário) e à temperatura ambiente. Ao finalizar o processo de descoloração do corante, armazene a água em um recipiente, como uma garrafa para análises posteriores.

2ª AULA – CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA – IMPACTOS GERADOS POR AGENTES QUÍMICOS POR MEIO DE TESTES ECOTOXICOLÓGICOS.
--

O desenvolvimento desta segunda etapa deve iniciar com uma discussão e reflexão acerca da preservação do meio ambiente, da conservação da biodiversidade e do uso sustentável dos recursos naturais.

O professor pode questionar os alunos sobre o aumento significativo da poluição por diferentes compostos tóxicos e, em seguida, deve pautar a necessidade de monitorar os níveis de poluição causados por componentes químicos.

A partir disso, o professor deve introduzir o uso de bioensaios para análise de poluentes químicos e seu impacto na saúde de organismos vivos.

Por fim, será apresentado e distribuído à turma o roteiro do experimento que será realizado na sequência, o teste ecotoxicológico, com foco no teste de germinação de sementes utilizando a semente de alface.

MATERIAIS E REAGENTES

- Água oxigenada comercial – Volume 20
- Copos descartáveis
- Pipeta de Pasteur ou seringa de 10 mL
- Algodão
- 10 béqueres ou copos de vidro
- Água destilada ou água de arrefecimento para automóveis
- Sementes de alface (*Lactuca Sativa*)
- Plástico filme
- Soda cáustica

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Após a descoloração da água contendo o corante, será realizado o ensaio de fitotoxicidade para avaliar a sensibilidade das sementes à toxicidade residual (após o tratamento) e conhecida (solução bruta) do composto, o corante. Para este ensaio, será utilizada como controle positivo (+) uma solução de peróxido de hidrogênio, simulando um composto tóxico, e, para verificar a viabilidade do lote de sementes, será empregada a água destilada como controle negativo (-). As amostras de soluções, tanto a bruta (antes da descoloração) quanto a tratada (após a descoloração), serão testadas nas seguintes concentrações: 100%, 50%, 25% e 12,5%, diluídas em água destilada. Os experimentos com as amostras controle serão realizados seguindo o mesmo padrão dos ensaios com as soluções- teste. A montagem dos experimentos ocorrerá em copos descartáveis, nos quais será colocada uma pequena quantidade de algodão. Este algodão será umedecido com 4 mL da respectiva solução (efluente bruto, tratado, controle positivo e controle negativo) em cada uma das concentrações. Com o auxílio de uma pinça, 15 sementes serão distribuídas uniformemente em cada copo. Para cada amostra e controle, os ensaios serão realizados em triplicata. Para manter a umidade e evitar a desidratação, os copos serão vedados com plástico filme. Posteriormente, as amostras serão transferidas para uma caixa de papelão para incubação, simulando as condições de germinação iniciais.

COLETA DE DADOS

Nesse momento os alunos serão divididos em grupos de cinco alunos para coleta e interpretação dos dados obtidos a partir dos testes de fitotoxicidade. Após a germinação, os alunos contarão o número de sementes germinadas (RSG) e medirão o comprimento das raízes. A partir desses dados, eles calcularão a porcentagem relativa de germinação (%RSG) e porcentagem relativa de crescimento radicular (%RRG). Em seguida, utilizarão esses dados para a determinação do

Índice de Germinação (GI), conforme as fórmulas estabelecidas na metodologia (Belo, 2011).

Porcentagem Relativa de Germinação (%RSG): Calculada pela razão entre a média de sementes germinadas nas amostras e no controle, multiplicada por 100.

$$\%RSG = \left(\frac{\text{Sementes germinadas amostras}}{\text{Sementes germinadas controle}} \right) \times 100$$

Porcentagem Relativa de Crescimento Radicular (%RRG): Calculada pela razão entre o comprimento médio das raízes das amostras e do controle, multiplicada por 100.

$$\%RRG = \left(\frac{\text{Comprimento amostras}}{\text{Comprimento controle}} \right) \times 100$$

Índice de Germinação (IG): Um indicador de fitotoxicidade que combina os dois valores percentuais anteriores, ou seja, é calculado pela razão do produto das duas porcentagens anteriores.

$$IG (\%) = \left((\% RSG) \times (\%RRG) \right) / 100$$

Cada grupo calculará o IG de sua amostra e fazer a classificação de acordo com a tabela fornecida.

Tabela 1 – Classificação qualitativa de fitotoxicidade

GI (%)	Classificação do material de análise
> 100	O material potencializa a germinação e o crescimento da raiz das plantas
80 – 100	Não fitotóxico
60 – 80	Moderadamente fitotóxico
30 – 60	Fitotóxico
< 30	Muito fitotóxico

Fonte: Adaptado de Belo (2011)

Com todas essas informações, os estudantes devem analisar e elaborar um relatório apresentando os dados obtidos na forma de tabelas e gráficos

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante disso, foi realizado o teste do tratamento da água contendo o corante amarelo de tartrazina para avaliar a remoção de cor e de componentes tóxicos via processo Eletro-Fenton. A seguir, são apresentados resultados referentes à mudança de coloração da água antes e após o tratamento.

Figura 3 – Efluente bruto



Figura 4 – Efluente bruto



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A cor é um aspecto muito estudado na Química, uma vez que, em uma reação, a mudança de intensidade da cor de uma solução pode indicar também a mudança na concentração dos produtos envolvidos na reação (Fernandes *et al.*, 2020). Após o tratamento, o que se observou foi uma mudança significativa na tonalidade da água (Figura 4). No entanto, no tratamento de efluentes, apenas a descoloração não significa propriamente a degradação do corante. Portanto, foram realizados testes de toxicidade utilizando sementes de alface da espécie *Lactuca sativa*. Os parâmetros avaliados incluíram taxa de germinação e comprimento das raízes. Os resultados dos bioensaios realizados antes e após o processo eletro-fenton são apresentados nos gráficos das Figuras 5 e 6 e leva em consideração para título de comparação os valores apresentados na tabela abaixo.

Tabela 2 – Classificação qualitativa de fitotoxicidade

GI (%)	Classificação do material de análise
> 100	O material potencializa a germinação e o crescimento da raiz das plantas
80 – 100	Não fitotóxico
60 – 80	Moderadamente fitotóxico
30 – 60	Fitotóxico
< 30	Muito fitotóxico

Fonte: Adaptado de Belo (2011)

Os gráficos abaixo demonstram o resultado obtido com relação ao índice de germinação das sementes expostas nas seguintes concentrações: 100%, 50%, 25% e 12,5%, tanto para o efluente bruto quanto para o efluente tratado

Figura 5 – Efluente tratado

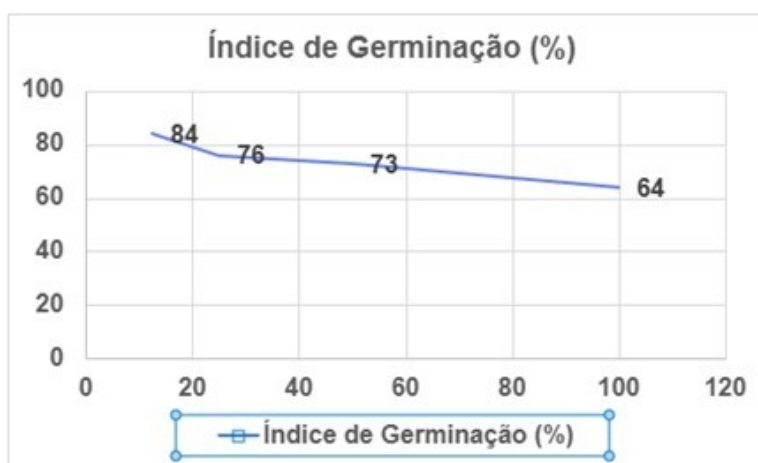
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

De acordo com o gráfico acima (figura 5) houve um comportamento de menor índice de germinação no qual o efluente tratado sem diluição apresentou toxicidade letal para as sementes de alface, com 100% de inibição da germinação. No entanto, para as concentrações de 50%, 25% e 12,5%, o efeito tóxico foi menos agressivo, porém classificado como “muito tóxico”. No entanto, ainda assim possibilitou a germinação das sementes e o crescimento radicular. Esse resultado se deve

provavelmente à presença de componentes inibidores, embora a água tenha passado por um processo de tratamento. Segundo Araújo et al., em alguns casos, os produtos provenientes da degradação via processos oxidativos avançados podem ser mais tóxicos do que os componentes iniciais.

No gráfico 6, apresentado logo abaixo, o efluente bruto, na diluição de 12,5%, apresentou índice de germinação de 84%, sendo classificado como não fitotóxico conforme a Tabela adaptada de Belo (2011). Esse resultado indica que a diluição reduziu significativamente o efeito tóxico do corante na condição inicial.

Figura 6 – Efluente tratado



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Com isso, os valores apresentados nas tabelas abaixo correspondem à média aritmética das triplicatas realizadas, acompanhadas do respectivo desvio padrão, com o objetivo de indicar a variabilidade dos dados obtidos.

Tabela 3 – Média e desvio padrão

Efluente bruto	
Média	74, 25
Desvio padrão	8, 26

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Tabela 4 – Média e desvio padrão

Efluente tratado	
Média	20,03
Desvio padrão	17,25

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Observa-se que, enquanto o efluente bruto apresentou redução progressiva da toxicidade com a diluição, o efluente tratado demonstrou comportamento distinto, apresentando maior toxicidade nas concentrações mais elevadas. Esse resultado sugere a formação de subprodutos potencialmente mais tóxicos durante o processo de oxidação, hipótese compatível com estudos sobre Processos Oxidativos Avançados publicados por De Araújo *et al.*, 2016 e Al-Tohamy *et al.*, 2022. Isso reafirma a teoria mencionada anteriormente acerca da possibilidade de formação de intermediários tóxicos, resultando em um nível de toxicidade maior na amostra tratada do que na amostra não tratada. Logo, a remoção da cor é apenas a primeira etapa da decomposição do corante causada pela quebra da ligação azo (Sobczak; Bujnowicz; Bilińska, 2024). Diante disso, acredita-se que para a decomposição completa seja necessária a combinação de mais um método para melhor degradação do corante e, conseqüentemente, remoção dos subprodutos considerados potencialmente tóxicos.

Portanto, a avaliação da remoção do corante foi realizada de forma qualitativa, por observação macroscópica da descoloração, não sendo empregadas técnicas espectrofotométricas para quantificação da eficiência do processo. Além disso, não foram realizadas análises instrumentais para identificação dos subprodutos formados. Tais limitações devem ser consideradas na interpretação dos resultados e indicam possibilidades para estudos futuros com maior aprofundamento analítico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados indicaram que o processo eletro-Fenton adaptado promoveu a descoloração da solução contendo Tartrazina. Contudo, os bioensaios revelaram que a toxicidade residual do efluente tratado foi, em determinadas concentrações, superior à do efluente bruto, sugerindo a formação de subprodutos intermediários potencialmente mais tóxicos. Do ponto de vista ambiental, o processo demonstrou eficiência parcial, evidenciando que a remoção da cor não implica necessariamente redução da toxicidade. No âmbito pedagógico, a proposta experimental apresenta potencial significativo para o ensino investigativo, pois possibilita a problematização de conceitos de oxirredução, processos oxidativos avançados e ecotoxicologia, utilizando materiais de baixo custo e favorecendo a articulação entre Química e Educação Ambiental.

REFERÊNCIAS

AL-TOHAMY, Rania *et al.* A critical review on the treatment of dye-containing wastewater: Ecotoxicological and health concerns of textile dyes and possible remediation approaches for environmental safety. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, [s. l.], v. 231, p. 113160, Feb. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.113160>. Acesso em: 7 dez. 2025.

ARAUJO, Luisa Fernandes de *et al.* Análise da cobertura de abastecimento e da qualidade da água distribuída em diferentes regiões do Brasil no ano de 2019. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 27, n. 7, p. 2935-2947, 2022. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/csc/2022.v27n7/2935-2947/>. Acesso em: 17 set. 2024.

ALSUKAIBI, Abdulmohsen K. D. Various approaches for the detoxification of toxic dyes in wastewater. **Processes**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 1968, Sept. 2022. Disponível em: [doi.org](https://doi.org/10.3390/10.10.1968). Acesso em: 14 ago. 2024.

ARDILA-LEAL, Leidy D. *et al.* A brief history of colour, the environmental impact of synthetic dyes and removal by using laccases. **Molecules**, [s. l.], v. 26, n. 13, p. 3813, June 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>. Acesso em: 7 dez. 2025.

BEDIN, Flávia Caroline *et al.* Tendências metodológicas da pesquisa em ensino de química na revista “química nova na escola” - 1995 a 2017. **Revista Pesquisa Qualitativa**, São Paulo, v. 8, n. 17, p. 256-277, out. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.33361/rpq.2020.v.8.n.17.224>. Acesso em: 24 fev. 2025.

BRANCHI, Bruna Angela. Watershed sustainability and composite indices: application and challenges. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 34, e63868,

2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/sn-v34-2022-63868>. Acesso em: 19 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF: CONAMA, 2011. Disponível em: <http://conama.mma.gov.br/resolucoes.php?tipo=resolucao&id=430>. Acesso em: 8 dez. 2025.

CARDOSO, R. **O uso de processos eletroquímicos de oxidação avançada na degradação da fenacetina e sua aplicação como recurso metodológico envolvendo o ensino de química**. 2023. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2023. Disponível em: ufms.br. Acesso em: 8 DEZ. 2025.

DAMASCENO DE OLIVEIRA, Laira Lúcia *et al.* Avaliação ecotoxicológica de amostras de água e efluente utilizando a espécie *Lactuca sativa* (Plantae, Magnoliophyta). **Ensaio USF**, Bragança Paulista, v. 8, n. 1, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.24933/e-usf.v8i1.438>. Acesso em: 8 dez. 2025.

DE ARAÚJO, Karla Santos *et al.* Advanced oxidation processes: a review regarding the fundamentals and applications in wastewater treatment and industrial wastewater. **Ambiente e Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v. 11, n. 2, p. 387-401, abr. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1862>. Acesso em: 1 dez. 2025.

FERNANDES, Gabriel Martins *et al.* Novel approaches for colorimetric measurements in analytical chemistry – A review. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 1135, p. 187-203, Oct. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.07.030>. Acesso em: 7 dez. 2025.

FONSECA, J. G. P. da *et al.* Metodologias ativas de aprendizagem no ensino da química para o novo ensino médio. **Revista Contemporânea**, São José dos Pinhais, v. 4, n. 9, e5904, 2024. Disponível em: doi.org. Acesso em: 7 dez. 2025.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.
GIL, Antonio Carlos. Como elaborar projetos de pesquisa. 6. Ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GIORDAN, M. O papel da experimentação no ensino de ciências. **Química Nova na Escola**, São Paulo, n. 10, p. 43-49, nov. 1999.

GONÇALVES, R. P. N.; GOI, M. E. J. Chemistry teaching experimentation in basic education. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 9, n. 1, e126911787, 2020. Disponível em: doi.org. Acesso em: 7 set. 2024.

JAWAD, Rafat A. Mohammed. Electro-Fenton technology as an advanced oxidation process for eliminating antibiotic-resistant bacteria from Euphrates river water in Iraq.

International Journal of One Health, [s. l.], p. 225-241, Sept. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.14202/ijoh.2025.225-241>. Acesso em: 23 nov. 2025.

LIPSCHER, Juraj. Reflections on challenges and rewards in teaching chemistry. **CHIMIA**, Bern, v. 77, n. 10, p. 659-664, Oct. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2533/chimia.2023.659>. Acesso em: 9 dez. 2025.

LIU, Mingzhu; ZHANG, Shengnan; WANG, Zunyao. Advanced oxidation processes of organic contaminants. **Toxics**, [s. l.], v. 12, n. 8, 579, Aug. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/toxics12080579>. Acesso em: 9 dez. 2025.

RECK, Isabela Maria; PAIXÃO, Rebecca Manesco. Impactos ambientais dos corantes azo e tratamentos de remoção: uma revisão. **Revista Uningá**, Maringá, v. 28, n. 2, p. 61-66, out./dez. 2016. Disponível em: <https://revista.uninga.br/uningareviews/article/view/1865>. Acesso em: 16 out. 2024.

MOUTSAKIS, Giannis; PASCHALIDOU, Katerina; SALTA, Katerina. Chemistry laboratory experiments focusing on students' engagement in scientific practices and central ideas of chemical practices. **Chemistry Teacher International**, [s. l.], Nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0070>. Acesso em: 4 set. 2025.

NAÇÕES UNIDAS. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**. [s. l.], 25 set. 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/70856-conheça-os-novos-17-objetivos-de-desenvolvimento-sustentável-da-onu>. Acesso em: 17 set. 2024.

PAULINO, Antônio *et al.* **Elementos para a organização do ensino com base na teoria histórico-cultural e na didática desenvolvimental**. [s. l.: s. n.], 2024.

PENA-PEREIRA, Francisco *et al.* Miniaturized analytical methods for determination of environmental contaminants of emerging concern – A review. **Analytica Chimica Acta**, Amsterdam, v. 1140, p. 204-222, Dec. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aca.2020.11.040>. Acesso em: 24 set. 2024.

PEREIRA DE ARAÚJO, Marcos; GIOVANETTI EL-DEIR, Soraya; GOMES TAVARES, Rosângela. *Lactuca sativa* como bioindicador da contaminação por alumínio do lodo de Estação de Tratamento de Água. **Sistemas & Gestão**, Niterói, v. 16, n. 2, p. 119-126, abr. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2021.v16n2.1717>. Acesso em: 8 dez. 2025.

PESSOA JÚNIOR, Wanison André Gil; AZEVEDO, Flávia Regina Porto de. Corantes sintéticos e seus impactos ambientais: desafios, legislação e inovações tecnológicas sustentáveis. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 10, n. 12, p. 3972-3991, dez. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i12.17742>. Acesso em: 24 nov. 2025.

QUISPE CARDENAS, Luz Estefanny *et al.* Electro-Fenton and induced electro-Fenton as versatile wastewater treatment processes for decontamination and nutrient removal without byproduct formation. **ACS ES&T Engineering**, Washington, DC, v.

3, n. 9, p. 1324-1335, June 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acsestengg.3c00128>. Acesso em: 23 nov. 2025.
RODRIGUES, Victor *et al.* Construindo conceitos de ecotoxicologia no ensino básico: experimentos com plantas. **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, Itajaí, v. 17, n. 2, p. 64-77, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.5132/eec.2022.02.08>. Acesso em: 10 dez. 2025.

SAMUCHIWAL, S. *et al.* Evaluation of phytotoxicity of chemically and biologically treated textile effluent on the germination and growth of *Vigna radiata* seeds. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 11843, 2021.

SANTANA, M. D. F.; COUCEIRO, S. R. M.; LARA, T. S. Biodegradation and reduction of toxicity of Azo Trypan Blue dye by Amazonian strains of gasteroid fungi (Basidiomycota). **Brazilian Journal of Biology**, São Carlos, v. 83, e247160, 2023. Disponível em: doi.org. Acesso em: 24 nov. 2025.

SANTOS, Lucelia Rodrigues; MENEZES, Jorge Almeida de. A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios. **Revista Eletrônica Pesquiseduca**, Santos, v. 12, n. 26, p. 180-207, jan./abr. 2020.

SALEEM, Muhammad Hamzah *et al.* Emerging trends in wastewater treatment: addressing microorganic pollutants and environmental impacts. **Science of The Total Environment**, Amsterdam, v. 913, 169755, Feb. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169755>. Acesso em: 24 set. 2024.

SILVA, Antonio Tiago Fonseca da. **Testes de toxicidade com sementes como ferramenta na avaliação da poluição do solo em lixões**: o caso do lixão de Crateús-CE. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Orientadora: Prof. Dra. Thayres de Sousa Andrade, Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2023. Disponível em: ufc.br. Acesso em: 10 nov. 2025.

SOBCZAK, Magdalena; BUJNOWICZ, Sebastian; BILIŃSKA, Lucyna. Fenton and electro-Fenton treatment for industrial textile wastewater recycling: comparison of by-products removal, biodegradability, toxicity, and re-dyeing. **Water Resources and Industry**, [s. l.], v. 23, 100256, June 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100256>. Acesso em: 7 dez. 2025.

TEIXEIRA, Laís Montenegro *et al.* Fitotoxicidade aguda de efluente têxtil *in natura* empregando sementes como bioindicadores. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 39, e4829, p. 74-80, 2024. Disponível em: doi.org. Acesso em: 10 nov. 2025.

TERUYA, Leila Cardoso *et al.* Visualização no ensino de química: apontamentos para a pesquisa e desenvolvimento de recursos educacionais. **Química Nova**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 561-569, 2013. Disponível em: doi.org. Acesso em: 10 nov. 2025.

ZANONI, Maria Valnice. **Corantes: caracterização química, toxicológica, métodos de detecção e tratamento**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2016. 1 E-

book (347 p.). ISBN 978-857983-780-7. Disponível em:
<https://wordpress.ft.unicamp.br/wp-content/uploads/sites/33/2017/10/Corantes.pdf>.
Acesso em: 24 nov. 2025.