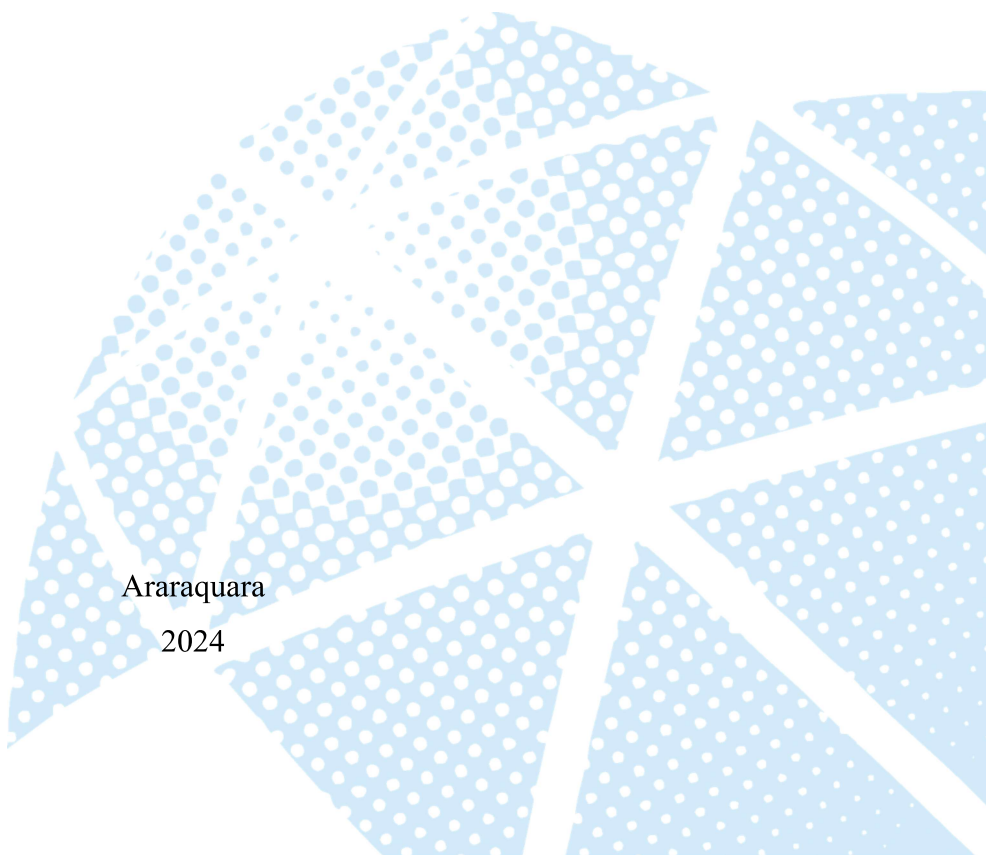


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
Instituto de Química - Câmpus de Araraquara

GYOVANNA CRAVEIRO MARINELI

**Proposta de um caso investigativo para ensino inovador de eletroanalítica no
ensino superior de química**

Araraquara
2024



GYOVANNA CRAVEIRO MARINELI

Proposta de um caso investigativo para ensino inovador de eletroanalítica no ensino superior de química

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Bacharela em Química.

Orientador: Prof. Dr. Amadeu Moura Bego

Co-orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Juliana Ferreira de Brito

Araraquara

2024

M338p Marineli, Giovanna Craveiro

Proposta de um caso investigativo para ensino inovador de eletroanalítica no ensino superior de química / Giovanna Craveiro Marineli. -- Araraquara, 2024

94 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Química) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Química, Araraquara

Orientador: Amadeu Moura Bego

Coorientadora: Juliana Ferreira de Brito

1. Métodos de estudo de caso. 2. Divulgação científica. 3. Química - Estudo e ensino. 4. Química analítica. 5. Material didático. I. Título.

GYOVANNA CRAVEIRO MARINELI

Proposta de um caso investigativo para ensino inovador de eletroanalítica no ensino superior de química

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Estadual Paulista (UNESP) Instituto de Química, Araraquara, para obtenção do título de Bacharela em Química.

Data da defesa: 27/11/2024

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
 JULIANA FERREIRA DE BRITO
Data: 11/12/2024 16:56:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Juliana Ferreira De Brito

Documento assinado digitalmente
 PATRICIA FERNANDA DE OLIVEIRA CABRAL
Data: 11/12/2024 15:55:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Patrícia Fernanda de Oliveira Cabral

Documento assinado digitalmente
 PATRICIA GON CORRADINI
Data: 11/12/2024 17:07:51-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a. Dr^a. Patricia Gon Corradini

À minha estrela mais brilhante, meu irmão Carlos Eduardo Craveiro da Silva, por ser minha primeira referência de amor e companhia, e por me mostrar diariamente que o amor transcende o físico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Eugenia Craveiro e Magno Antonio Marineli, pelo amor incondicional, o apoio e todas as lutas que lutaram para que esse sonho pudesse se realizar. Amo vocês mais do que palavras podem expressar.

Às minhas irmãs, Rebeca Craveiro Marineli e Eduarda Craveiro Marineli, por serem a base de toda a minha estrutura e a razão pela qual sigo todos os dias. Amo vocês nessa e em todas as vidas que eu ainda for viver.

Ao meu orientador Amadeu Moura Bego, por todos os ensinamentos e parceria de anos trabalhando juntos. Por me inspirar a ser uma profissional cada vez melhor, por me incentivar a seguir o caminho da ciência e educação com amor e determinação.

À minha co-orientadora Juliana Ferreira de Brito, por acolher esse projeto com tanto carinho e empolgação. Cada conversa que tivemos foi animadora e de muito aprendizado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de pesquisa (processo 137757/2024-7) que permitiu o desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu grupo de pesquisa, RIPEQ, por todas as discussões, contribuições e momentos de descontração. Aprendo muito com vocês.

Ao PET Química Unesp Araraquara, pelos quase quatro anos de trabalho, parceria, risadas e dedicação. Vocês me proporcionaram uma formação complementar essencial e abriram minha visão quanto ao curso e minha atuação profissional.

Ao Instituto de Química - Unesp Araraquara, todos os seus funcionários e servidores, por terem me proporcionado a melhor estrutura possível, pela solicitude e todos os projetos que atuamos em conjunto ao longo desses seis anos.

À minha família, Karina, Cris, Zaca e nossas estrelas Catharina e Engracia. Se não fossem vocês, eu não seria eu. Obrigada por me apoiar e zelar por mim sempre.

Aos meus amigos que são meu lar, minha força e minha alegria: Gabriela, Viniciús, Miriele, Lais e Douglas. Não seria nada sem vocês. Agradeço a parceria, o carinho, o incentivo diário e por estarem ao meu lado sempre. Agradeço pelo nosso alinhamento milenar. Amo vocês imensamente.

À república Big Mato e ao Paulo pelos anos de amizade, por cada abraço de conforto, cada comemoração juntos e por terem sido minha casa quando eu mais precisei me reencontrar. Amo vocês.

À professora Marian Rosaly Davolos, pela iniciação científica que desenvolvemos juntas e todo o aprendizado que ela me transmitiu.

Ao meu antigo supervisor acadêmico e amigo, Rodolpho Alessandro Nesta Silva, por todos os ensinamentos, paciência, churrascos e por sempre acreditar em mim. Obrigada por tudo.

À professora Fernanda Octaviano, por ter plantado e cultivado a sementinha da Química em meu ser.

À minha família Cenática, meu terceirão, por terem me apoiado e visto meu potencial quando eu mesma não conseguia vê-lo ainda.

Aos meus familiares e amigos, ao Programa de Permanência Estudantil, ao cursinho pré-vestibular MedEnsina, meus amigos pack e a todos que contribuíram para que eu chegasse até aqui. O sonho de uma universidade pública, gratuita e de qualidade se concretizou para mim graças a todos vocês. Seguimos na luta para que seja assim para todos.

“Mania de grandeza num corpo pequeno
Me vejo longe daqui
Mãe, não é surpresa, se eu não saio agora
Eu nunca mais vou conseguir

Na minha cama, à noite, eu sinto Deus e tudo que é maior
Sussurrando calmo, em meu ouvido, sonhos de outdoor

A terra que eu deixo espera a minha volta
O vento da queda já não me alcança
A água ainda chove, mas já não me molha
Eu estou em chamas

Eu vejo as luzes, vejo as ruas
Eu tenho um sonho imortal
Eu quero que tudo me aconteça no final”

(Jão; Tófani; Zebu, 2023)¹

¹ JÃO; TÓFANI, Pedro; ZEBU. **Super**. In: *SUPER* [álbum]. São Paulo: Universal Music, 2023. Faixa 14.

RESUMO

O papel da universidade em promover uma formação cidadã e completa, além da formação acadêmica e profissional, concretiza-se por meio de ações indissociáveis entre ensino, pesquisa e extensão. Diante da necessidade de inovação no ensino de graduação, tornando o aluno um agente ativo em seu processo de aprendizagem, este trabalho tem como objetivo elaborar um Caso Investigativo (CI), como um Produto Educacional (PE), para o ensino de técnicas eletroanalíticas no curso de Química. O trabalho inspira-se em Textos de Divulgação Científica (TDCs) produzidos no âmbito do grupo PET Química, que são baseados em uma pesquisa sobre a oxidação de poluentes orgânicos e a redução de CO₂. A partir de parcerias entre um grupo de pesquisa em ensino de Química, um grupo de pesquisa de Eletroanalítica e um grupo de educação tutorial, o trabalho integra uma investigação mais ampla, envolvendo a reaplicação do design proposto por Primo (2023), para concretizar o princípio da indissociabilidade por meio da produção de TDCs e CIs. A estratégia didática dos CIs baseia-se em narrativas que estimulam a tomada de decisão e a discussão de conflitos sociocientíficos. O trabalho foi baseado nos princípios teóricos e metodológicos discutidos na literatura especializada. O CI elaborado, no formato de caso interrompido, promove discussões sobre a temática central e é composto por duas partes, que contemplam conteúdos químicos estruturantes dos TDCs e da pesquisa científica. Além de abordar conhecimentos gerais e específicos sobre técnicas eletroanalíticas, o CI atende às características de um "bom caso", conforme discutido na literatura, proporcionando oportunidades para o desenvolvimento de habilidades e atitudes essenciais à formação de futuros profissionais de Química, como trabalho em equipe, criticidade, argumentação e criatividade.

Palavras-chave: caso investigativo; divulgação científica; ensino de química; eletroanalítica.

ABSTRACT

The university's role in promoting a civic education, in addition to academic and professional training, is realized through inseparable actions between teaching, research, and extension. Given the need for innovation in undergraduate education, making the student an active agent in their learning process, the present work aims to develop a Case Study (CS), as an Educational Artefact (EA), to teach electroanalytical techniques in an undergraduate Chemistry program. The work was inspired by Popular Science Texts (PSTs) produced within the scope of the PET Chemistry extension group, based on research on the oxidation of organic toxins and the reduction of CO₂. Based on partnerships between a Chemistry Education research group, an Electroanalytics research group, and an tutorial education group, the work is part of a broader investigation that involves a reapplication of the design proposed by Primo (2023) to realize the principle of inseparability through the production of PSTs and CSs. CSs are based on narratives that stimulate decision-making and the discussion of socio-scientific dilemmas. The work was based on theoretical and methodological principles discussed in the specialized literature. The CS developed, in the interrupted case format, promotes discussion on the central theme and is composed of two parts that contemplate chemical content that structures the PSTs and scientific research. In addition to addressing general and specific knowledge about electroanalytical techniques, the CS meets the characteristics of a "good case", according to the literature, and provides opportunities for the development of skills and attitudes essential to the training of future Chemistry professionals, such as teamwork, critical thinking, argumentation, and creativity.

Keywords: case studies; science communication (SC); higher education; electroanalytical.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Representação esquemática de um diagrama de bandas para semicondutores extrínsecos do tipo n.....	22
Figura 2 –	Mecanismo de fotoeletrocatalise e principais reações para um semicondutor do tipo n e do tipo p, respectivamente.....	22
Figura 3 –	Etapas para o desenvolvimento de um Produto/Processo Educacional. Adaptado de Farias e Mendonça (2019).....	32
Figura 4 –	Esquema representativo da célula eletroquímica com dois compartimentos proposta por Brito <i>et al.</i> (2019b).....	38
Figura 5 –	Imagens de vista superior FEG-SEM dos eletrodos de (a) TiO_2Nt e (b) $\text{NtTiO}_2\text{-ZrO}_2$	39
Figura 6 –	Compostos identificados por GC-MS e suas respectivas áreas de pico na água residual de petróleo antes e depois de 120 min. de tratamento.....	40
Figura 7 –	Etapas propostas para aplicação do CI e o tempo sugerido para cada etapa.....	63
Figura 8 –	Mecanismo de oxidação de um HOP.....	67
Figura 9 –	Reações de oxidação dos poluentes orgânicos e redução de CO_2 em metanol (CH_3OH) e etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) que ocorrem no reator híbrido proposto por Brito <i>et al.</i> (2019b).....	69
Figura 10 –	Representação da idealização de uma planta de uma indústria petrolífera que utiliza um ciclo fechado de água gerando energia com o tratamento de seus resíduos.....	72

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Parte 1 do CI intitulada “PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?”.....	42
Quadro 2 –	Parte 2 do CI intitulada “TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO”.....	46
Quadro 3 –	Conteúdo programático das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I. Adaptado dos Programas de Ensino das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I presentes nos Anexos B e C, respectivamente.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP	Aprendizagem Baseada em Problemas
CI	Caso Investigativo
GPEQSC	Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos
IES	Instituição de Ensino Superior
IQCAr	Instituto de Química Câmpus de Araraquara - UNESP
NCCCST	<i>National Center for Case Study Teaching in Science</i> (Centro Nacional de Estudos de Casos em Ensino de Ciências)
PBL	Problem-Based Learning
PE	Produto Educacional
PET	Programa de Educação Tutorial
TDC	Texto de Divulgação Científica
USP	Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 O ensino de Eletroanalítica no Ensino Superior.....	18
1.1.1 Fotoeletrocatalise: conceitos base da pesquisa inspiradora.....	21
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	24
2.1. O uso de Casos Investigativos como estratégia didática para o ensino de ciências...	24
2.2. O uso de Casos Investigativos no contexto de sala de aula para o Ensino de Química no Ensino Superior.....	26
2.3. Casos Investigativos pautados em Textos de Divulgação Científica.....	28
3 OBJETIVOS.....	31
3.1. Objetivo geral.....	31
3.2. Objetivos específicos.....	31
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
5.1 Fontes de inspiração.....	37
5.2 Apresentação do Caso Investigativo e as características que o classificam um “bom caso”.....	42
5.3 Descrição da disciplina do curso de graduação em química na qual o CI pode ser aplicado.....	55
5.4 Contextualização da problemática central do CI.....	57
5.5 Conhecimentos gerais passíveis de serem abordados no CI.....	59
5.6 Conhecimentos químicos específicos passíveis de serem abordados no CI.....	60
5.7 Proposta de aplicação do CI.....	61
5.8 Habilidades e competências passíveis de serem desenvolvidas com a aplicação do CI..	64
5.9 Resoluções sugeridas para o CI e indicação da melhor solução.....	66
5.9.1 Resoluções da Parte 1 do CI.....	67
5.9.2 Resoluções da Parte 2 do CI.....	70
6 CONCLUSÃO.....	72
REFERÊNCIAS.....	74
APÊNDICE A – Caso investigativo completo.....	79
ANEXO A – Instrumento para avaliação do Caso Investigativo (CI) proposto por Primo (2023).....	86
ANEXO B – Plano de Ensino da disciplina Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica.....	88
ANEXO C – Plano de Ensino da disciplina Química Analítica Instrumental Experimental I.....	92

1 INTRODUÇÃO

Discussões a respeito do papel das universidades públicas têm ganhado grande destaque nos últimos anos, especialmente no cenário nacional devido à pandemia mundial do vírus SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome CoronaVirus 2*), declarada oficialmente em 11 de março de 2020 pela OMS (Organização Mundial de Saúde). Em decorrência da pandemia, o excesso de informações, muitas vezes incorretas ou inválidas, se deu de forma exacerbada. Assim, o papel da comunidade universitária de combate a *fake news* e de promoção de informações acerca das pesquisas desenvolvidas nas universidades se tornou ainda mais essencial.

Diante desse cenário, as pesquisas produzidas nas universidades ganharam destaque nas mídias sociais, especialmente nas redes sociais, e em veículos de ampla divulgação, como jornais e revistas. Entretanto, ainda há uma grande discussão acerca da dificuldade de realizar uma interação e um diálogo efetivos entre a universidade e os outros setores da sociedade. Dessa forma, do ponto de vista da divulgação científica, muitos dos conhecimentos científicos ficam restritos aos muros da universidade, não chegando à população. Em uma análise ainda mais profunda, como apontado por Primo (2023), há um indicativo de que os próprios alunos de graduação não conhecem, ou conhecem muito pouco, sobre o que tem sido produzido na própria universidade.

A partir dessas discussões, evidencia-se como o estreitamento da relação entre ciência e sociedade é essencial e as universidades podem desempenhar um importante papel na difusão dos conhecimentos produzidos a partir de pesquisas por meio de atividades de ensino e extensão (Ribeiro; Magalhães, 2014).

Ribeiro e Magalhães (2014) defendem que a universidade se constitui em um espaço para além da formação acadêmica, profissional e de produção de conhecimento, mas também como um espaço para estimular o espírito crítico e promover uma formação mais cidadã. Logo, a responsabilidade social universitária se concretizaria na promoção de ações indissociáveis entre ensino, pesquisa e extensão.

Para estreitar essa relação entre ciência e sociedade, buscando garantir a qualidade do trabalho acadêmico e o diálogo desses trabalhos com os mais diversos setores da sociedade, o princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão nas universidades públicas brasileiras está estabelecido no art. 207 da Constituição Federal (Brasil, 1988). Sendo assim, essas três dimensões constituem os pilares da Universidade Pública.

A consolidação desse princípio é um desafio presente, como aponta Gonçalves (2015). Dentre vários motivos, é possível ressaltar o baixo fomento a iniciativas que destinam-se a estabelecer uma interface entre as três dimensões e a valorização de um pilar em relação aos outros. Isso ocorre pois cada agente da universidade possui diferentes concepções a respeito de qual pilar possui maior importância, necessidade de investimento e ações voltadas para seu fortalecimento. Dessa forma, o que se encontra, de maneira geral, são relações duais reducionistas entre essas dimensões.

No entanto, como destacado por Gonçalves (2015), coexistência não significa indissociabilidade. O princípio da indissociabilidade vai além da coexistência das três dimensões e de ações duais entre extensão e pesquisa ou extensão e ensino. Como apontado por Tauchen (2009, p. 93), o “conceito de indissociabilidade remete a algo que não existe sem a presença do outro, ou seja, o todo deixa de ser todo quando se dissocia”. Portanto, as dimensões devem estar indissociáveis, de forma que avancem em conjunto.

Desse modo, fica evidente a necessidade de se realizar ações integradoras que visem incorporar o ensino, pesquisa e extensão de maneira indissociável, de forma que, ao avançar em uma dimensão, as outras também avancem. Ao trabalhar nessa perspectiva, é possível o desenvolvimento de projetos que elevam a formação acadêmica dos graduandos, democratizam e divulgam o conhecimento científico à sociedade.

Nesse sentido, analisando a dimensão do ensino, no que se refere ao ensino no nível superior, com o grande salto tecnológico e constantes mudanças na relação com a tecnologia nas últimas décadas, tem se tornado cada vez mais evidente a busca por metodologias e estratégias para a contribuição de um aprendizado mais contextualizado e dinâmico. Essas estratégias buscam justamente a melhoria da qualidade de ensino e contemplar o proposto nas Diretrizes Curriculares para os cursos de Bacharelado e Licenciatura em Química, integrantes do Parecer CNE/CES nº 1.303/2001 (Brasil, 2001).

Em vista disso, vale destacar as habilidades e competências a serem desenvolvidas durante o curso de graduação de Bacharelado em Química.

Possuir capacidade crítica para analisar de maneira conveniente os seus próprios conhecimentos; assimilar os novos conhecimentos científicos e/ou tecnológicos e refletir sobre o comportamento ético que a sociedade espera de sua atuação e de suas relações com o contexto cultural, socioeconômico e político; Saber trabalhar em equipe e ter uma boa compreensão das diversas etapas que compõem um processo industrial ou uma pesquisa, sendo capaz de planejar, coordenar, executar ou avaliar atividades relacionadas à Química

ou a áreas correlatas; Ter interesse no auto-aperfeiçoamento contínuo, curiosidade e capacidade para estudos extra-curriculares individuais ou em grupo, espírito investigativo, criatividade e iniciativa na busca de soluções para questões individuais e coletivas relacionadas com a Química; Ter formação humanística que lhe permita exercer plenamente sua cidadania e, enquanto profissional, respeitar o direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos; Saber identificar e fazer busca nas fontes de informações relevantes para a Química, inclusive as disponíveis nas modalidades eletrônica e remota, que possibilitem a contínua atualização técnica, científica e humanística; Ler, compreender e interpretar os textos científico-tecnológicos em idioma pátrio e estrangeiro (especialmente inglês e/ou espanhol); Ter consciência da importância social da profissão como possibilidade de desenvolvimento social e coletivo; Saber identificar e apresentar soluções criativas para problemas relacionados com a Química ou com áreas correlatas na sua área de atuação; Ter capacidade de disseminar e difundir e/ou utilizar o conhecimento relevante para a comunidade; Ser capaz de atender às exigências do mundo do trabalho, com visão ética e humanística, tendo capacidade de vislumbrar possibilidades de ampliação do mesmo, visando atender às necessidades atuais (Brasil, 2001, p. 25).

Nessa perspectiva, a aprendizagem e a maneira como ela é realizada possui um objetivo maior do que apenas transmitir o conhecimento científico como um grande repertório de informações e experimentos, mas também possui o objetivo de formar cidadãos críticos e com diferentes competências e habilidades.

Na literatura especializada da área, encontram-se discussões sobre as chamadas estratégias didáticas ativas, que visam o protagonismo do aluno no processo de aprendizagem. Por meio delas, é possível desenvolver competências mais complexas exigidas pela sociedade da informação, tais como: “resolução de problemas complexos, trabalho em equipe respeitando as diferenças culturais, pensamento crítico, criatividade e utilização dos recursos tecnológicos disponíveis” (Mattasoglio Neto; Soster, 2017, p. 1).

Entretanto, como apontado por Primo (2023), o ensino no nível superior geralmente é pautado na metodologia transmissiva, sendo caracterizada por aulas expositivas, que utilizam estratégias de memorização e reprodução de conteúdos disciplinares, em que os alunos são vistos como passivos no processo de aprendizagem.

Em razão disso, buscando uma maneira de inovar no Ensino de Ciências, a literatura especializada aponta o uso dos chamados estudos de casos ou, conforme nomenclatura defendida por Francisco (2022), casos investigativos (CI), que visam o protagonismo do aluno em seu processo de aprendizagem, como alternativa para a metodologia transmissiva mais comumente utilizada. Por meio do uso de CIs, é possível estimular o desenvolvimento de diversas habilidades como a criatividade, a tomada de decisões, o pensamento crítico e outras competências que contribuem para uma formação mais cidadã.

Os CIs podem ser considerados como uma estratégia didática² importante para o ensino de ciências. Como mencionado anteriormente, é importante ressaltar que em pesquisas mais recentes, alguns autores optam por utilizar o termo “Casos Investigativos” ao se referir à estratégia didática. Tal escolha é uma alternativa para diferenciá-la da metodologia qualitativa de pesquisa chamada estudo de caso.

Como indicado anteriormente, essa estratégia aproxima o aluno de problemáticas atuais relacionadas com a sua área de estudo, além de estimular o desenvolvimento de habilidades necessárias ao futuro profissional, como empatia, tomada de decisão, criatividade, resolução de problemas e trabalho em equipe. Contudo, como discutido por Mattasoglio Neto e Soster (2017), trabalhar com estratégias ativas não é uma tarefa simples, pois exige do professor um conhecimento aprofundado do conteúdo a ser ministrado, além de capacidade de gerenciar grupos de estudantes, fornecendo-lhes atenção individualizada, e enfrentar possíveis imprevistos.

A produção sistemática de CIs tem potencial para ser caracterizada como a geração de Produtos Educacionais (PE), uma vez que, de acordo com Rizzatti *et al.* (2020, p. 4),:

[...] considera-se PRODUTO/PROCESSO EDUCACIONAL (PE) na Área de Ensino, o resultado tangível oriundo de um processo gerado a partir de uma atividade de pesquisa, podendo ser realizado de forma individual (discente ou docente *Stricto Sensu*) ou em grupo (caso do *Lato Sensu*, PIBID, Residência Pedagógica, PIBIC e outros).

De acordo com Rizzatti *et al.* (2020, p. 2), “a função de um PE desenvolvido em determinado contexto sócio-histórico é servir de produto interlocutivo à [sic] professores e professoras que se encontram nos mais diferentes contextos do nosso país”. Sendo assim, o PE possui potencial para atuar como um instrumento de inovação no ensino. Para isso, os professores têm a liberdade de reutilizar, revisar, remixar, redistribuir e reter os PE, podendo

² Entende-se como estratégia didática um “Conjunto de ações intencionadas e planejadas do professor para a consecução dos objetivos de aprendizagem propostos, ou seja, trata-se do elemento do planejamento responsável pela consecução dos objetivos” (Alves; Bego, 2020, p. 89).

adaptá-los às necessidades de suas diferentes turmas. Considerando essa definição, o CI proposto categoriza-se como um PE do tipo Material Didático, pois trata-se de um “produto de apoio/suporte com fins didáticos na mediação de processos de ensino e aprendizagem em diferentes contextos educacionais (impressos, audiovisuais e novas mídias)” (Rizzatti *et al.*, 2020, p. 4).

Portanto, visto que há poucas iniciativas nas universidades que se pautem efetivamente no princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, bem como o caráter fortemente transmissivo das aulas de graduação e a ausência de materiais didáticos especializados para o ensino superior com base em abordagens ativas, o presente trabalho é parte de uma investigação mais ampla que envolve a reaplicação do design proposto por Primo (2023) para integração dos três pilares a partir da produção de Textos de Divulgação Científica (TDCs) e de CIs. O foco de estudo, então, se encontra no desenvolvimento, a partir de etapas que inter-relacionam as dimensões do ensino, pesquisa e extensão, de uma abordagem inovadora no ensino de eletroanalítica no ensino superior por meio da produção de um Caso Investigativo, como um Produto Educacional, com vistas à formação mais crítica e criativa dos estudantes universitários em linha com Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química.

1.1 O ensino de Eletroanalítica no Ensino Superior

A Eletroanalítica é uma área estudada nas disciplinas de Química Analítica Instrumental Quantitativa, ou seja, na área de Química Analítica. Essa área está presente nos cursos de graduação em Química, sejam bacharelados ou licenciaturas, e é necessária para a formação ampla de futuros químicos como profissionais. Dentro dessa grande área, se estudam os métodos eletroanalíticos, os quais possuem diversas vantagens em seu uso como seletividade, especificidade das determinações, grande sensibilidade e baixos limites de detecção (Pacheco *et al.*, 2013).

Os métodos eletroanalíticos utilizam de propriedades elétricas mensuráveis, como corrente, potencial, quantidade de carga, entre outros, a partir de fenômenos nos quais uma espécie redox interage com demais componentes do meio, ou mesmo com interfaces. Essas interações são observadas ao se aplicar perturbações controladas ao sistema, variando algumas dessas propriedades elétricas. Essas medidas são chamadas de sinais eletroanalíticos e são, então, relacionadas com algum parâmetro químico intrínseco da espécie (Pacheco *et al.*, 2013).

Especificamente no IQCAr - Unesp, a disciplina de Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica, para o curso de bacharelado em Química, visa promover um estudo teórico e prático amplo dos métodos eletroanalíticos, uma área com aplicações altamente relevantes, produção de tecnologias inovadoras e presente na rotina diária de um profissional de química. Entretanto, a abordagem do conteúdo pode ser aperfeiçoada com o uso de determinadas estratégias didáticas, em especial aquelas nas quais o aluno assume um papel protagonista e ativo em seu processo de aprendizagem, estimulando a criatividade, o pensamento crítico, reflexões e discussões acerca dos temas abordados.

No projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica dessa mesma instituição há diversos parágrafos apontando as competências e habilidades que o profissional da área deve possuir após se graduar e que, durante seu curso, devem ser proporcionadas pela instituição de ensino oportunidades para que essas aptidões sejam estimuladas e desenvolvidas. É possível sintetizar algumas dessas habilidades e competências elencadas no documento, como: saber trabalhar em equipe; capacidade e interesse no auto-aperfeiçoamento contínuo; curiosidade e espírito investigativo; visão ética e humanística que permita o exercício pleno da cidadania; e atuação profissional com respeito ao direito à vida e ao bem-estar dos cidadãos.

Todos esses atributos são essenciais e de extrema importância para que o profissional em química possua capacidade de avaliar, diariamente, de maneira crítica e cidadã, as questões ambientais, sociais, econômicas, políticas e tecnológicas que envolvem a química e suas aplicações na sociedade. Ademais, o profissional deve possuir domínio sobre os conceitos fundamentais da química e suas propriedades e dos avanços na área para ter a capacidade de disseminar, difundir e utilizar o conhecimento relevante para a comunidade.

Como referido, na metodologia transmissiva, o aluno é visto como passivo em seu processo de aprendizagem. No entanto, o projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica do Instituto de Química Câmpus de Araraquara - UNESP (IQCAr - Unesp) (2023) aponta para o fato de que os currículos propostos para esses cursos possuem como princípio que o professor não é a principal fonte de informações para os alunos, mas sim um sistematizador e facilitador. Dessa forma, fica evidente que o princípio norteador das estratégias ativas já se faz presente, em teoria, no planejamento curricular desses cursos de graduação e entende-se que a utilização de estratégias desses tipo, como o uso de CIs, para o ensino dos métodos eletroanalíticos possui grandes benefícios visto que os princípios pedagógicos dessas estratégias estão em concordância com o previsto no projeto pedagógico.

Desse modo, considerando que há poucas iniciativas nas universidades que se pautem efetivamente na indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, bem como o caráter fortemente transmissivo das aulas de graduação e a ausência de materiais didáticos especializados para o ensino superior com base em abordagens ativas, conduziu-se um trabalho que visa propor ações integradoras entre as três dimensões do tripé universitário e que propiciem a inovação no ensino de graduação.

É importante ressaltar que o presente trabalho é parte de um projeto maior envolvendo uma parceria entre grupos do IQCAr, sendo um grupo de pesquisa de química (Grupo de Eletroanalítica de Araraquara - GEAr), um grupo de pesquisa em ensino de química (Rede de Inovação e Pesquisa no Ensino de Química - RIPEQ) e um grupo de extensão (Programa de Educação Tutorial - PET). Assim, o projeto maior trata-se de uma pesquisa de mestrado que possui como objetivo propor uma interface entre ensino, pesquisa e extensão de maneira indissociável.

Dessa forma, visando contemplar o princípio da indissociabilidade, o CI proposto neste trabalho utilizou como fonte de inspiração e base uma pesquisa científica do GEAr que propõe a transformação de dióxido de carbono (CO_2) em combustíveis, metanol e etanol, concomitantemente ao processo de degradação de poluentes orgânicos por fotoeletrocatalise, bem como TDCs sobre essa mesma pesquisa produzidos no âmbito do Grupo PET Química dessa mesma instituição. Quatro TDCs foram produzidos no contexto desse grupo de extensão e possuem o objetivo de divulgar essa importante pesquisa para tornar o conhecimento científico mais acessível ao público não especializado da sociedade, democratizando o acesso à ciência. Para promover o pilar do ensino de maneira indissociável aos outros, a proposta deste trabalho foi de elaborar um CI para o ensino de técnicas eletroanalíticas na graduação utilizando os TDCs produzidos pelos membros do PET como fonte de inspiração. Futuramente, pretende-se realizar a aplicação do CI em uma turma do curso de bacharelado em química dessa mesma instituição.

Na próxima seção, apresentam-se os principais conceitos químicos das técnicas eletroanalíticas que são base para a pesquisa científica desenvolvida, bem como suas inovações e possibilidades de aplicação que embasaram a produção dos TDCs e, portanto, são a base para a resolução do CI proposto neste trabalho.

1.1.1 Fotoeletrocatalise: conceitos base da pesquisa inspiradora

A fotoeletrocatalise (PEC, do inglês *photoelectrocatalysis*) é uma técnica que combina a eletrocatalise (EC) ao uso de uma fonte de luz, como o sol, para promover reações eletroquímicas. Ou seja, parte da energia necessária para promover as reações provém de uma fonte de luz. Dessa forma, para compreender o conceito da PEC, é necessário entender os princípios básicos da EC.

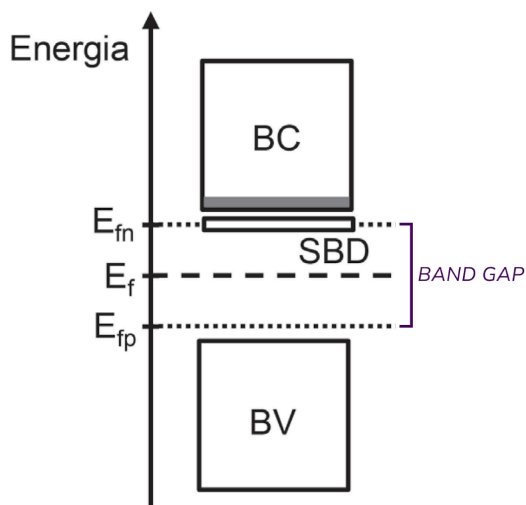
O termo eletrocatalise refere-se aos processos eletroquímicos nos quais as reações de transferência de carga dependem fortemente da natureza do material do eletrodo (Santos; Schmickler, 2019). Nesse sentido, a EC estuda a relação entre as propriedades físico-químicas dos materiais do eletrodo e os mecanismos que influenciam a taxa das reações no eletrodo. Seu objetivo, portanto, é aumentar a taxa de reação, ou seja, a corrente elétrica gerada, por meio da redução da energia de ativação da reação de interesse (Cardeña; Cercado; Buitrón, 2021).

A PEC tem sido amplamente estudada por suas diversas aplicações, como a remoção de poluentes inorgânicos, a redução de CO₂ e a geração de hidrogênio (Zarei; Ojani, 2017) além da desinfecção de águas e a remoção de corantes de águas residuais (Bessegato *et al.* 2015). De acordo com Baccaro e Gutz (2018), a PEC possui um potencial promissor, especialmente por integrar o tratamento de águas com a geração de energia. Nesse sentido, destaca-se o uso dessa técnica na dissociação da água (*water splitting*) utilizando materiais de óxidos semicondutores para converter energia solar em fontes de combustível, oferecendo uma alternativa promissora e ecologicamente amigável (Costa *et al.* 2023).

Diante disso, a PEC tem se mostrado eficaz e vem ganhando destaque na literatura para a conversão de poluentes orgânicos persistentes e CO₂ em compostos menos inertes ou em combustíveis. Um exemplo destacável é a oxidação fotocatalítica de compostos orgânicos, que se baseia no uso de semicondutores do tipo n, ou seja, aqueles que possuem impurezas doadoras de elétrons, irradiados por luz com comprimento de onda maior que a energia de sua banda proibida (*bandgap*). A Figura 1 apresenta uma representação esquemática de um diagrama de bandas para semicondutores extrínsecos dos tipos p e n. Nesse processo, os elétrons são excitados da banda de valência (BV) para a banda de condução (BC), gerando buracos na banda de valência que podem oxidar água, formando radicais hidroxilas que são potentes oxidantes capazes de degradar compostos orgânicos, processo ilustrado na Figura 2, juntamente ao mecanismo para um semicondutor do tipo p. Nos semicondutores do tipo n, os elétrons excedentes estão fracamente ligados aos seus átomos dopantes parentais, facilitando

sua ionização e promoção para a BC. Esses elétrons são os principais transportadores de carga nesse tipo de material (Baccaro; Gutz, 2017).

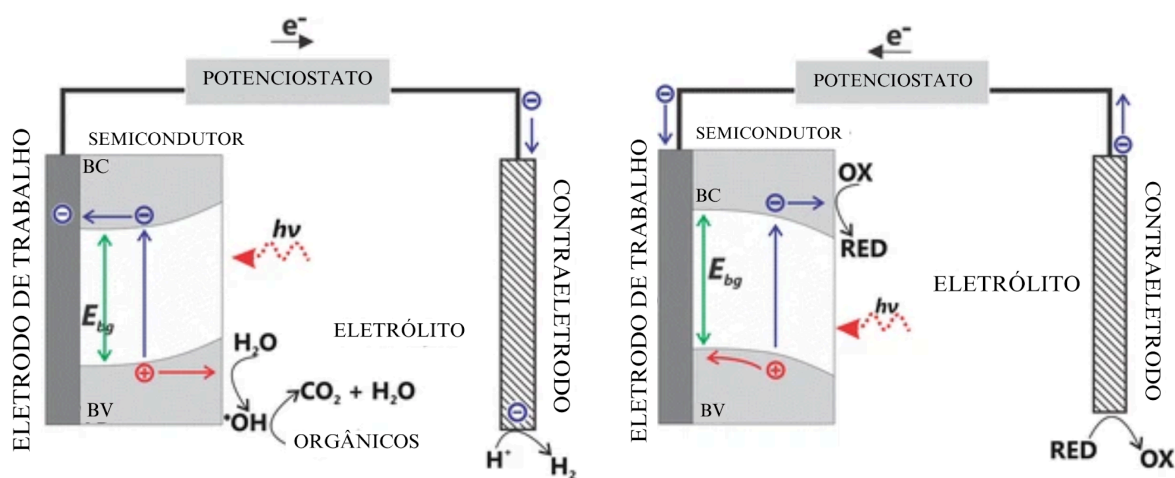
Figura 1 – Representação esquemática de um diagrama de bandas para semicondutores extrínsecos do tipo n.



BV: banda de valência; BC: banda de condução; E_{fn} : nível de Fermi do semicondutor n; E_{fp} : nível de Fermi do semicondutor p; SBD: sub-banda doadora. Diagrama esquemático representado à temperatura ambiente ($\approx 298,15$ K). Sombreamento cinza gradual apontando a presença de níveis acessíveis para transporte de carga.

Fonte: Adaptado de Baccaro e Gutz (2018).

Figura 2 - Mecanismo de fotoeletrocatalise e principais reações para um semicondutor do tipo n e do tipo p, respectivamente.



BV: banda de valência; BC: banda de condução; E_{bg} : energia *band gap*.

Fonte: Adaptado de Bessegato *et al.* (2015).

Contudo, o uso desse processo ainda não apresenta resultados de eficiência suficientemente altos para certas reações e, por isso, na PEC parte da energia necessária

provém da energia elétrica, além da luz (Brito *et al.*, 2019b). Brito *et al.* (2019b) explicam que o fotoanodo sintetizado e utilizado na pesquisa inspiradora foram nanotubos de óxido de titânio (TiO_2) modificados com óxido de zircônio (ZrO_2). Os nanotubos de TiO_2 já são conhecidos na literatura devido às suas propriedades únicas como a resistência à fotocorrosão, não toxicidade e baixo custo. Além disso, os nanotubos de TiO_2 apresentam maior atividade catalítica e maior área específica em comparação com outras nanoestruturas desse material. A aplicação dos nanotubos de TiO_2 para oxidação de compostos orgânicos está relacionada com a borda da banda de valência, que pode promover a oxidação da água gerando prótons e radicais hidroxila ($-\text{OH}$), uma espécie altamente reativa capaz de oxidar uma ampla gama de poluentes.

Como exposto anteriormente, o presente trabalho propôs a elaboração de um CI pautado em TDCs a respeito de uma pesquisa científica desenvolvida no IQCAR - Unesp. A pesquisa em questão propõe um reator híbrido de dois compartimentos: em um deles ocorre a oxidação de compostos orgânicos presentes nas águas residuais da exploração do petróleo, enquanto no outro se dá a redução de CO_2 à metanol e etanol. Os TDCs sobre essa pesquisa foram elaborados por alunos de graduação, desde os anos iniciais aos finais do curso, membros do grupo de extensão PET Química. Os TDCs serão divulgados, posteriormente, em plataformas online, como as redes sociais do PET, o site do programa e do instituto de química, e estarão disponíveis para leitura tanto da comunidade interna quanto externa.

Pautado no princípio da indissociabilidade, o intuito da pesquisa de mestrado que engloba o presente trabalho é propor uma interface entre a pesquisa científica do grupo GEAR, que investiga o emprego da PEC para tratamento de água contaminada simultaneamente à geração de combustíveis, a extensão universitária, por meio dos TDCs sobre essa pesquisa, e o ensino de graduação, por meio da produção de CIs baseados nesses TDCs, no âmbito do Grupo PET, e por meio do CI proposto nesse trabalho, que prevê sua posterior aplicação em uma disciplina da graduação do curso de bacharelado em química.

Com isso, busca-se divulgar amplamente para a sociedade a relevância da pesquisa produzida no âmbito da universidade pública, reforçando a importância de estreitar a relação entre ciência e sociedade e consolidar a responsabilidade social da universitária por meio de ações indissociáveis entre ensino, pesquisa e extensão.

Na próxima seção, é apresentada a fundamentação teórica que embasou o processo de elaboração do CI a respeito da pesquisa científica do GEAR, com foco no ensino de fotoeletrocatalise na graduação, em um curso de bacharelado em química.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. O uso de Casos Investigativos como estratégia didática para o ensino de ciências

A estratégia didática do uso de casos investigativos é uma variação do método Problem-Based Learning (PBL), também conhecido, em português, como Aprendizagem Baseada em Problemas (ABP). Esse método possui como objetivo aproximar os estudantes de seu futuro profissional, instigando a busca de soluções para problemas reais, sendo amplamente utilizado em cursos de medicina, tendo em vista que sua origem se deu na Escola de Medicina da Universidade de McMaster, em Ontário, Canadá, no final dos anos 1960 (Pazinato; Braibante, 2014; Sá; Francisco; Queiroz, 2007; Sá; Queiroz, 2009). Nas décadas seguintes, o método foi introduzido em diversas universidades ao redor do mundo, como, por exemplo, na Universidade de Maastricht na Holanda, Newcastle na Austrália e Harvard nos Estados Unidos da América (EUA). No contexto nacional, na década de 1990, ele foi implementado na Escola de Saúde Pública do Ceará, na Faculdade de Medicina de Marília (FAMEMA) e na Universidade de Londrina (UEL) (Borochovicius; Tortella, 2014). Atualmente, o PBL é adotado por diversas universidades do mundo e nas mais diversas áreas, não apenas na área da educação.

Os CIs e o PBL se diferem, principalmente, em seus objetivos. Em seu modelo original, o PBL possui como foco a aprendizagem do assunto científico enquanto os CIs possuem, aliado a esse objetivo, o intuito de estimular o desenvolvimento de diversas habilidades, como a tomada de decisão por profissionais (Sá; Francisco; Queiroz, 2007).

A implementação dos CIs no ensino de ciências, especificamente, se deu na década de 1940 com o professor e químico James Conant, da Universidade de Harvard (EUA). Conant criava histórias que contavam o caminho percorrido por cientistas, partindo de uma abordagem histórica nos conceitos científicos (Francisco, 2022).

Os CIs são narrativas envolventes de situações reais ou simuladas vividas por determinados personagens que se encontram diante de uma problemática ou um dilema, sem apresentar um final (Francisco, 2022; Primo, 2023; Sá; Queiroz, 2009). Dessa forma, os estudantes devem analisar a situação, propondo possíveis soluções com embasamento científico por meio de materiais fornecidos pelo professor ou pesquisados por eles mesmos. Assim, os estudantes devem discutir e tomar decisões acerca do final que irão propor como resolução do caso.

Nessa estratégia, o aluno possui um papel de destaque em seu processo de aprendizagem e o professor possui como papel principal ser um orientador para o surgimento de ideias dos alunos, bem como auxiliá-los a analisar os fatos e problemas, considerando todos os aspectos das suas ações e consequências.

Como apontado por Sá e Queiroz (2009, p. 12), os CIs oferecem aos estudantes “oportunidades de direcionar sua própria aprendizagem e investigar aspectos científicos e sociocientíficos, presentes em situações reais ou simuladas, de complexidade variável”. Evidencia-se, então, que os CIs possuem potencialidades didáticas e pedagógicas, proporcionando uma aproximação dos estudantes ao seu futuro profissional e estimulando o desenvolvimento de habilidades como autoaprendizagem, capacidade de trabalhar em grupo e integração entre diferentes conhecimentos (Primo, 2023).

Yadav *et al.* (2007) realizaram uma pesquisa com docentes da área de Ciências, especialmente do nível superior, dos EUA e Canadá a fim de identificar as percepções do corpo docente quanto aos benefícios e desafios do uso de CIs. A pesquisa relatou que o corpo docente entende o uso de CIs como uma estratégia com grande potencial, apontando que a maioria dos docentes relatou que ao utilizar CIs em suas aulas, os alunos demonstraram habilidades de pensamento crítico mais fortes (88,8%), capacidade de fazer conexões entre várias áreas do conteúdo (82,6%) além de uma compreensão mais profunda de conceitos (90,1%) e capacidade de analisar um problema sob diversas perspectivas (91,3%).

Dessa forma, o uso de CIs se demonstra como uma estratégia didática ativa que, além do ensino do conteúdo científico, proporciona oportunidades de desenvolvimento de habilidades que são essenciais para a atuação profissional futura dos alunos. Ao colocar o aluno como um protagonista em seu processo de aprendizagem, permite-se que ele estimule sua criatividade frente a resolução de problemas, considerando aspectos sociocientíficos, bem como habilidade de pensamento crítico e uma formação multidisciplinar fundamentada.

No que tange ao Ensino de Química no Ensino Superior, os objetivos dessa estratégia estão em concordância com as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Química, proporcionando oportunidades para que os futuros profissionais da área possuam as competências mais complexas exigidas em sua atuação profissional diária.

2.2. O uso de Casos Investigativos no contexto de sala de aula para o Ensino de Química no Ensino Superior

O uso de CIs no ensino de Química no Ensino Superior, especialmente no contexto nacional, é relativamente recente. Selbach *et al.* (2021) apresentam uma revisão bibliográfica a respeito dessa estratégia para a promoção da argumentação no Ensino Superior de Química, trabalho no qual apontam que o primeiro relato no Brasil aplicada ao ensino de Química foi no ano de 2007, por Sá, Francisco e Queiroz.

Especialmente na área de Química, o uso de CIs no ensino superior se mostram efetivos na promoção de diversas habilidades fundamentais para o profissional da área. Algumas pesquisas têm apontado o uso de CI como potencial para o estímulo e desenvolvimento, por exemplo, da argumentação (Sá; Queiroz, 2009), da empatia e do interesse por assuntos atuais relacionados com a área (Herreid, 1998), habilidades cognitivas e capacidade de tomada de decisões bem fundamentadas diante de questões científicas e sociocientíficas (Sá; Queiroz, 2005, 2010) e da busca pela construção do conhecimento de forma crítica, reflexiva e autônoma (Selbach *et al.*, 2021).

A aplicação dos CIs, no que se refere ao contexto de sala de aula de Ciências, pode ser realizada por diversos formatos, ou até mesmo uma combinação deles. Herreid (1998) classificou as aplicações em quatro formatos:

- *Tarefa individual*: o caso possui a característica de uma tarefa que o aluno, individualmente, deve propor soluções, juntamente com um enredo explicativo dos eventos que o levaram à sua resolução;
- *Aula expositiva*: o caso possui o caráter de ser contado pelo professor/instrutor aos alunos, de forma elaborada e com objetivos específicos. Diálogos e debates também se enquadram nesse formato. É possível dois professores/instrutores trabalharem juntos apresentando diferentes perspectivas e argumentos em relação ao caso. É interessante ressaltar que esse formato foi apresentado por James Conant;
- *Discussão*: o caso é apresentado como um dilema e o professor/instrutor realiza diversas questões aos alunos em relação às suas perspectivas e propostas de resolução quanto ao caso;
- *Pequenos grupos*: os alunos trabalham em pequenos grupos para propor soluções ao caso. Nesse formato os casos apresentam um contexto relacionado ao futuro profissional dos alunos, trazendo dilemas passíveis de acontecerem na atuação profissional dos alunos.

Considerando a realidade em sala de aula, bem como os objetivos específicos e a carga horária das disciplinas, a combinação dos formatos de aplicação ou a adoção de um dos formatos com algumas variações são encontrados na literatura. Um exemplo disso se encontra no formato “Método do Caso Interrompido”, variante proposta por Herreid em 2005. Em seu trabalho o autor descreve o formato proposto, no qual, assim como no PBL, o professor apresenta partes do caso e os alunos realizam suas investigações, no entanto, o caso pode ser apresentado por completo em uma só aula. Além disso, esse formato pode ser aplicado de forma passiva, em que o professor ou dois estudantes atuam como o proponente e o solucionador do problema, ou de forma engajada, na qual os alunos são divididos em pequenos grupos para proporem soluções ao problema conforme o professor fornece informações aos poucos aos alunos. O autor reitera que a primeira forma de aplicação possui as fraquezas de uma aplicação passiva a menos que o professor pare, periodicamente, e engaje discussões com os estudantes, mas que serve para ilustrar como o solucionador raciocina sobre o problema.

Outro exemplo se encontra no trabalho de Cliff e Curtin (2000), variante do formato de aula expositiva, em que o professor cria casos curtos e os incorpora a cada uma das unidades que são apresentadas na aula expositiva. Cada caso possui questões a serem respondidas individualmente ou em grupo, por meio de consultas a livros ou anotações feitas durante a aula.

Dessa forma, é evidente que o uso de CIs, especialmente no ensino superior de Química, apresenta grande potencial ao estimular o desenvolvimento de diversas habilidades importantes ao profissional da área e sua aplicação pode ser selecionada de acordo com os objetivos individuais das disciplinas, considerando o conteúdo programático, e considerando as características da Instituição de Ensino Superior (IES). Além disso, em especial no IQCAR, o uso dessa estratégia está alinhado aos objetivos propostos no projeto pedagógico para o curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica.

Diante do exposto, o uso de CIs no ensino de Química no nível superior, ainda que recente, tem se mostrado como uma estratégia eficiente para o desenvolvimento das competências necessárias ao profissional de química. É evidente que essa estratégia pode proporcionar um aprendizado mais contextualizado com a realidade profissional e com questões atuais transversais aos profissionais e a comunidade. Porém, buscando uma conexão ainda maior com a realidade científica e despertar maior interesse nos alunos, os CIs devem ser produzidos considerando o contexto e a realidade de sua aplicação. Assim, buscando atender ao princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, é possível utilizar

como fonte de inspiração pesquisas científicas desenvolvidas dentro da própria IES e materiais de Divulgação Científica (DC) produzidos no âmbito da própria instituição.

A seção a seguir apresenta o potencial dessa combinação para ampliar a contextualização dos CIs, inserindo-os em um contexto de pesquisa científica próximo dos alunos e explorando a interface entre ensino, pesquisa e extensão.

2.3. Casos Investigativos pautados em Textos de Divulgação Científica

A produção de um CI parte de um tópico selecionado pelo autor do caso e torna-se mais interessante, causando conexão com o leitor, quando se associa a problemas contemporâneos, conflitos, notícias ou experiências pessoais de situações passíveis de ocorrerem no futuro profissional dos alunos (Herreid, 2000).

Em relação à produção, aplicação e estudos a respeito do uso de CIs no Brasil, destaca-se o Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do Instituto de Química de São Carlos (GPEQSC) da Universidade de São Paulo (USP), que teve o início de suas atividades em 2003, sob coordenação da Prof^a Dr^a Salete Linhares Queiroz, e possui como principal foco de pesquisa o desenvolvimento, implementação e avaliação de materiais didáticos. Dessa forma, é possível encontrar além de suas vastas pesquisas relacionadas ao assunto, um acervo de CIs desenvolvidos pelo grupo em sua página da web³. É importante ressaltar que o grupo possui como fonte de inspiração para seus casos pesquisas publicadas na revista “Pesquisa FAPESP” em conjunto a notícias e pesquisas publicadas em importantes canais de divulgação.

Um dos casos mais recentes disponível no acervo do grupo, intitulado “DEPRESSIVAMENTE: A QUÍMICA DA FELICIDADE”, publicado em 09/08/2024, por exemplo, foi inspirado nas informações contidas, principalmente, em três notícias: “Química da depressão: como doença age no cérebro e como remédios funcionam”, publicado no canal “VivaBem” da UOL; “Brasil lidera o ranking de ansiedade e depressão na América Latina!”, publicado no blog do centro Ruschel Medicina e Pesquisa Clínica; e “Pesquisa da USP busca pacientes com depressão refratária”, publicado no Jornal da USP. Além disso, o caso buscou um tema atual, que despertasse conexão e interesse com os alunos por meio da incorporação da temática do filme do estúdio de animação Pixar “Divertidamente 2”, que foi lançado no final do mês de junho do mesmo ano. Os autores do CI propuseram o caso para possível

³ GPECSC: Grupo de Pesquisa em Ensino de Química do IQSC. 2024. Disponível em: <https://gpecsc.iqsc.usp.br/>. Acesso em: 11 nov. 2024.

aplicação em um curso superior de áreas correlatas à Química, nas disciplinas de “Química Orgânica” e “Química Medicinal”.

O uso de CIs pautados em materiais de DC, incluindo os TDCs, apresenta grandes potencialidades. A DC, de maneira geral, possui como objetivo divulgar a ciência para o público em geral (Cunha, 2019). No entanto, como apontado por Moita e Andrade (2017), iniciativas como a DC não se pautam necessariamente em ações que realizem uma integração indissociável entre as dimensões do ensino, da pesquisa e da extensão, estabelecendo, muitas vezes, relações duais entre duas das dimensões. No caso da DC, por exemplo, muitas vezes ocorre uma relação dual entre ensino e pesquisa, não focando na dimensão da extensão.

Como apontado por Primo (2023), há indicativos de que os alunos de graduação não conhecem ou conhecem muito pouco a respeito das pesquisas que são produzidas na própria universidade, logo, é possível perceber que tampouco esse conhecimento chega até a comunidade externa. Desse modo, considerando que há poucas iniciativas nas universidades que se pautem efetivamente no princípio da indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão, bem como o caráter fortemente transmissivo das aulas de graduação e a ausência de materiais didáticos especializados para o ensino superior com base em abordagens ativas, justifica-se a condução de pesquisas que visem propor ações integradoras entre as três dimensões do tripé universitário e que propiciem a inovação no ensino de graduação.

Visando a integração indissociável entre ensino, pesquisa e extensão, este projeto é parte de uma investigação mais ampla que envolve a reaplicação do design proposto por Primo (2023) para integração entre ensino, pesquisa e extensão a partir da produção de TDCs e de CIs no âmbito do Grupo PET. O foco de estudo se encontra no desenvolvimento, a partir de etapas que inter-relacionam as dimensões do ensino, pesquisa e extensão, de uma abordagem inovadora no ensino de eletroanalítica no ensino superior por meio da produção de um CI com vistas à formação mais crítica e criativa dos estudantes universitários em linha com Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química.

Neste trabalho, selecionou-se o passo a passo para a escrita de um CI e as características que constituem um bom caso de Clyde Freeman Herreid, professor da Universidade de Búfalo, por ser um dos pesquisadores consolidados e referência na temática na literatura internacional. Seu artigo “*Case Studies in Science - A Novel Method of Science Education*” é o primeiro de uma sequência de artigos publicados na renomada revista de educação em Ciências, *Journal of College Science Teaching*, a respeito do uso de CIs no ensino de Ciências. Foi essa sequência de artigos que deu origem à seção “*The Case Study*”, a qual perdura até os dias atuais.

Vale ressaltar que devido à popularização da estratégia e visando ter um acervo de casos passíveis de serem utilizados para o ensino de Ciências, a Universidade de Búfalo desenvolveu uma plataforma chamada “*National Center for Case Study Teaching in Science*” (NCCSTS)⁴ ou Centro Nacional de Estudos de Casos em Ensino de Ciências. O acervo conta com narrativas para diferentes níveis de escolaridade (desde o ensino fundamental até o ensino superior e profissionalizante), além de possuir CIs de diferentes formatos e abranger diversas áreas como Anatomia, Biologia, Química, entre outros.

Diante do exposto, o CI produzido neste trabalho foi elaborado com base em um TDC produzido no âmbito do Grupo PET Química do IQCAr, além de outros materiais. O TDC foi pautado em uma pesquisa científica produzida na mesma instituição pelo Grupo de Pesquisa na área de Eletroanalítica e Química Ambiental, com enfoque na oxidação de compostos orgânicos e geração de combustíveis, abordando especificamente a transformação de dióxido de carbono (CO₂) em combustível concomitantemente ao processo de degradação de poluentes orgânicos por fotoeletrocatalise.

Os CIs pautados em TDCs destacam-se por promover uma conexão mais direta entre o conhecimento científico e questões atuais envolvendo nossa sociedade e uma realidade de pesquisa próxima dos alunos, engajando-os de maneira mais significativa. Ao integrar temas de pesquisa científica com eventos atuais, os CIs possuem uma potência ainda maior de criar conexão com os alunos e realizar a transposição do conhecimento científico pautado em livros bem fundamentados com a realidade atual e os problemas enfrentados nela.

⁴ NCCSTS: *National Center for Case Study Teaching in Science*. 2024. Disponível em: <https://www.nsta.org/case-studies>. Acesso em: 11 nov. 2024.

3 OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Diante da importância das discussões apresentadas previamente, esta pesquisa possui como objetivo geral produzir um CI, como um produto educacional, a partir de um TDC, desenvolvido no âmbito do Grupo PET Química do IQCAR - UNESP, pautado em uma pesquisa pertencente à mesma unidade, visando a inovação no ensino de eletroanalítica na graduação de Química da instituição e a integração indissociável entre ensino, pesquisa e extensão.

3.2. Objetivos específicos

Para direcionar o trabalho e seu desenvolvimento, visando à consecução do objetivo geral, definiu-se os seguintes objetivos específicos:

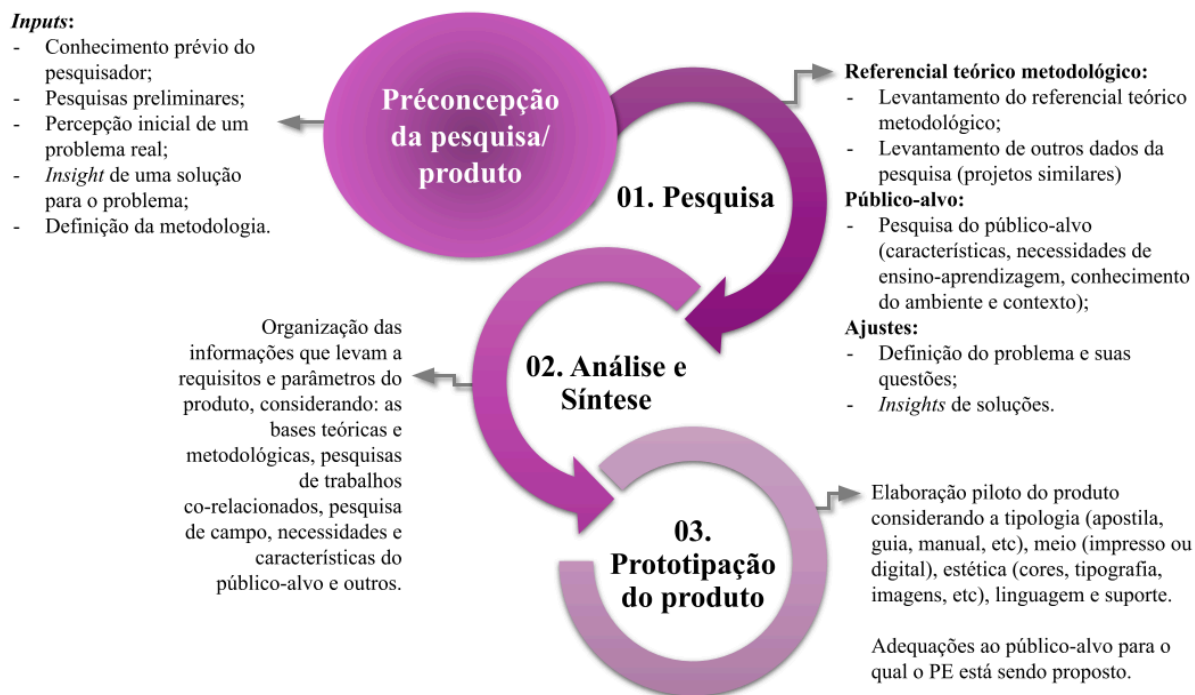
- Elencar os conhecimentos e conceitos químicos gerais e específicos no ensino de eletroanalítica, presentes no plano de ensino da disciplina e nos TDC, produzidos no âmbito do Grupo PET Química, que são possíveis de serem abordados no CI;
- Selecionar a temática principal e o contexto do problema a ser abordado pela narrativa do CI, considerando a relevância dentro do contexto da disciplina a ser ministrada e sua potencial aplicação de eletroanalítica nas áreas ambientais;
- Elencar as personagens que darão origem a situação-problema proposta no CI;
- Elencar as habilidades que os estudantes podem vir a desenvolver e resoluções passíveis de serem abordadas com a futura aplicação do CI em uma turma de Eletroanalítica da instituição;
- Analisar as adequações necessárias para que o CI se configure como um PE.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para alcançar o objetivo proposto de produção de um CI a partir de um TDC para o ensino de Química Eletroanalítica, mais especificamente fotoeletrocatalise, o procedimento metodológico selecionado se baseia nos referenciais de fundamentos teóricos estabelecidos pela literatura especializada para a elaboração de um CI, pensando em uma futura aplicação em uma turma da graduação em Química da própria Universidade.

Para o desenvolvimento de um PE, Farias e Mendonça (2019) propõem seis etapas a serem seguidas. Analisando o escopo deste trabalho, optou-se por realizar as primeiras três etapas: pesquisa, análise e síntese e prototipação do produto, como representado na Figura 3.

Figura 3 - Etapas para o desenvolvimento de um Produto/Processo Educacional.



Fonte: Adaptado de Farias e Mendonça (2019).

Inicialmente, as autoras propõem uma etapa de pré-concepção, na qual realiza-se uma percepção inicial de um problema real, com *insights* de possíveis soluções e definição da metodologia a ser empregada. Em seguida, se faz necessário realizar o levantamento do referencial teórico-metodológico, a pesquisa do público-alvo destinatário e a delimitação do problema que será trabalhado, juntamente de *insights* de possíveis soluções. Prossegue-se com a organização sistemática das informações, considerando as bases teóricas e metodológicas, bem como as necessidades e características do público-alvo. Elabora-se,

então, o piloto do produto, considerando a tipologia, estética e linguagem e realizando as adequações ao público-alvo para o qual o PE é proposto.

Logo, é evidente que as etapas para o desenvolvimento de um PE possuem uma estrutura análoga aos passos que guiam a produção de um CI, indicando a possibilidade de se realizar uma combinação dessas etapas a fim de se obter um CI que se categoriza como um PE.

Os apontamentos de Herreid (1998) quanto às características fundamentais que um CI deve ter para que seja considerado um “bom caso”, considerando o contexto de aplicação do CI desenvolvido, bem como suas orientações quanto aos passos para o desenvolvimento de um caso, em conjunto às etapas de desenvolvimento de um PE, foram os aportes metodológicos que orientaram a elaboração do CI produzido neste trabalho. Ademais, buscando a integração entre ensino, pesquisa e extensão, o CI em questão foi elaborado com base em um TDC produzido no âmbito do Grupo PET Química do IQCAR - UNESP e o plano de ensino da disciplina Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica, além de outros materiais. O TDC é pautado em uma pesquisa científica produzida na mesma instituição pelo Grupo de Pesquisa GEAR na área de Eletroanalítica e Química Ambiental, com enfoque na oxidação de compostos orgânicos e geração de combustíveis.

Dessa maneira, a fundamentação metodológica selecionada para realização da reflexão crítica e os princípios para que o CI produzido tenha utilidade pedagógica e seja considerado um “bom caso” seguiram as recomendações de Herreid (1998) em seu trabalho “*What Makes a Good Case?*”. Tal escolha se baseou no fato de ser um referencial consolidado e discutido em diversos trabalhos que propõem o uso de CI ou que pesquisam acerca dessa temática.

Em relação à elaboração do CI, Herreid (2000) elenca uma série de passos importantes para guiar a produção em seu trabalho “*Cooking with Betty Crocker — A Recipe for Case Writing*”. São eles:

1. Escolha de um tema central, que esteja relacionado com a disciplina na qual o CI será trabalhado;
2. Revisão e pesquisa sobre o tema, anotando todos os materiais para que seja possível realizar conexões e possibilidades futuramente;
3. Anotações rápidas, em formato de *brainstorm*, de todos os princípios que são possíveis de serem ensinados utilizando esse tema;
4. Produção de uma lista de possíveis personagens, reais ou fictícios, que poderiam ser afetados com esse tema;

5. Escrita de um rascunho do CI na perspectiva de uma personagem que esteja conectada ao problema, buscando oportunidades de introduzir novos termos e conceitos importantes para o curso;
6. Revisão do rascunho, elaborando uma lista de tópicos prováveis a serem discutidos com a leitura do caso;
7. Inclusão de questões para discussão ao final do caso. Essas questões serão um suporte norteador para que os alunos reconheçam as problemáticas principais e mais importantes associadas ao CI;
8. Revisões do CI, alterando os aspectos necessários até se obter uma versão final adequada.

Quanto à escolha do tema central, ele deve trazer alguma controvérsia, inovação e/ou se relacionar com alguma problemática contemporânea, pois isso será o “gancho” que traz um interesse provocativo ao caso. Esse interesse será o disparador das discussões que incitam o leitor a tentar solucionar o problema questionado pela história. Com o tema central escolhido, realiza-se uma revisão e uma pesquisa quanto à temática para selecionar todas as possíveis conexões e possibilidades para a história, anotando rapidamente todos os princípios que são possíveis de serem ensinados a partir desse tema selecionado e as pesquisas realizadas.

Tendo em vista que uma das características do CI é a presença de personagens, deve-se listar possíveis personagens, sejam reais ou fictícios, que a temática selecionada poderia afetar para guiar a escolha das personagens que irão compor o caso futuramente. Com todas essas informações, escreve-se uma primeira versão do caso, um rascunho, a partir da perspectiva de uma pessoa que está relacionada com a problemática relacionada ao tema central. É importante realizar a introdução de termos e conceitos importantes para a aula, independente de terem sido trabalhados previamente em sala de aula pois faz parte da estratégia didática dos CIs que os alunos realizem pesquisas desses conceitos e temas como parte de sua preparação para a aula.

Com o rascunho pronto, é necessário realizar uma revisão do caso escrito e listar todos os tópicos, principais e secundários, que possam surgir nas discussões do caso. Assim, realiza-se uma revisão do caso e uma reescrita do mesmo, realizando as modificações necessárias a fim de se obter uma versão final adequada e que atenda aos objetivos propostos com ele, ou seja, que aborde com os conteúdos selecionados. Deve-se incluir também questões norteadoras às discussões do caso, pois elas servirão como um suporte para guiar as

os alunos no reconhecimento das importantes problemáticas inseridas no caso e delimitar os tópicos a serem abordados na disciplina.

Como apontado previamente, existem hoje na literatura diversas formas de aplicação dos CI e diferentes variações de formatos. Neste trabalho, analisando o plano de ensino da disciplina, presente no Anexo B, na qual o CI será aplicado futuramente, juntamente à grade horária da disciplina, optou-se por realizar o formato caso interrompido. Esse formato permite que os alunos resolvam o caso em partes, incorporando o conhecimento desenvolvido em uma etapa na outra. Além disso, o formato interrompido proporciona tempo aos alunos para que os conhecimentos sejam consolidados.

A produção de um CI requer a reflexão crítica acerca de suas características para que seja considerado um “bom caso” e que possua a finalidade desejada. Dessa forma, com a versão final do CI, se realiza uma análise minuciosa a fim de identificar no caso as 11 características descritas por Herreid (1998) em seu trabalho “*What Makes a Good Case?*”.

De acordo com o autor, um bom caso deve:

- I. Contar uma história, possuindo início, meio e fim. Ainda que o fim possa não estar explicitado e sim direcionado;
- II. Despertar interesse sobre a problemática apresentada;
- III. Ser atual, com uma narrativa que se passa dentro dos últimos 5 anos, mostrando a importância e urgência do problema;
- IV. Criar empatia com as personagens principais da narrativa;
- V. Incluir citações, dando vida e drama ao caso;
- VI. Ser relevante para o leitor, envolvendo situações passíveis de ocorrerem na vida profissional do leitor;
- VII. Ter utilidade pedagógica para os alunos, professor e ao curso;
- VIII. Provocar conflitos, instigando a argumentação dos alunos para resolverem a questão;
- IX. Forçar a tomada de decisões, trazendo urgência e seriedade envolvendo a questão do caso;
- X. Ser generalizável, não sendo uma curiosidade específica;
- XI. Ser curto, evitando possíveis distrações e desfoques da narrativa.

Segundo o autor, um “bom caso” deve contar uma história, apresentando uma trama interessante que se relacione com as experiências do público-alvo. O fim deve ser direcionado, por meio das questões norteadoras presentes no caso, para que os alunos possam discutir a respeito e propor soluções, ou seja, forçando a tomada de decisão. Um “bom caso”

está atrelado a uma problemática real, atual e relevante, provocando interesse do leitor em solucioná-lo, tanto como um profissional da área à qual o CI se relaciona quanto como um membro da sociedade que é afetada pela problemática.

Um “bom caso” deve tornar o enredo mais envolvente ao instigar os leitores a desenvolverem empatia com as personagens centrais da história pois os atributos pessoais das personagens influenciam a tomada de decisão por parte dos leitores. Para isso, é possível utilizar artifícios da escrita como o uso de citações a fim de trazer realismo ao caso. Além disso, outra importante característica de um “bom caso” é a relevância dele para o leitor, ou seja, é importante que o caso envolva situações passíveis de ocorrerem na vida profissional do leitor para potencializar o fator da empatia e explicitar a importância do tema. No entanto, é importante destacar que um “bom caso” deve ser passível de generalizações, de forma que sua aplicabilidade seja mais abrangente para diferentes situações, para além de um problema local.

Herreid (1998) também aponta que um “bom caso” deve ter utilidade pedagógica, isto é, deve permitir a discussão de conhecimentos científicos relevantes e relacionados à disciplina. O “bom caso” deve ser curto, de maneira que haja facilidade de leitura e evitar o desvio de atenção do leitor do caso e do problema a ser discutido. Os CI devem ser discutidos fazendo com o que o leitor tome um posicionamento crítico em relação à história apresentada, dessa forma, o caso deve apresentar algum conflito provocativo que instigue à argumentação e force a tomada de decisões críticas e pensamentos reflexivos por parte do leitor para que ele possa propor uma resolução do problema.

Diante disso, após a conclusão do CI, realizam-se etapas de autoavaliação crítica do caso para verificar se ele possui as características definidas pela literatura especializada para ser considerado um “bom caso”. Neste trabalho, utilizou-se um instrumento de avaliação do caso proposto por Primo (2023), presente no Anexo A, para realizar essa avaliação crítica.

Após a elaboração e revisão de uma quantidade significativa de versões do caso, obteve-se uma versão piloto. Com ela pronta, o CI foi apresentado à RIPEQ e passou por um processo de validação interna ao grupo, por meio do Anexo A e discussões acerca da narrativa e características do caso. Com as respostas obtidas na aplicação do instrumento e as discussões realizadas pelo grupo, elaborou-se uma nova versão do caso, que foi revisada e adequada até se obter a versão final apresentada neste trabalho.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As seções a seguir apresentam as fontes que serviram de base e inspiração para a elaboração do CI, bem como o produto final, destacando as características que o classificam como um “bom caso” e as habilidades e competências que são estimuladas pela aplicação do caso. Apresenta-se, também, a sugestão de aplicação do CI na disciplina “Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica” do curso de bacharelado em Química do IQCAr - Unesp e a resolução sugerida do caso.

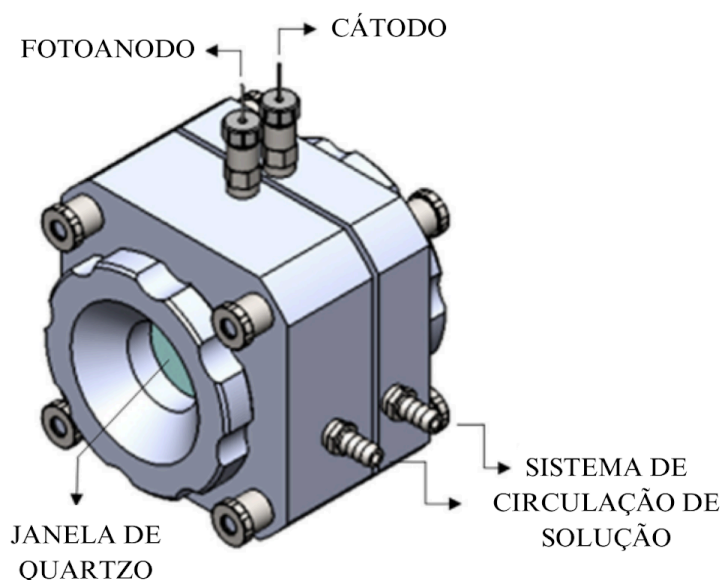
5.1 Fontes de inspiração

Como exposto anteriormente, o presente trabalho é um recorte de uma pesquisa de mestrado pautada na reaplicação do design proposto por Primo (2023) envolvendo três ciclos para propor uma interface indissociável entre ensino, pesquisa e extensão. O primeiro ciclo envolveu o estudo do conhecimento químico necessário para a pesquisa científica do GEAR sobre a oxidação de poluentes orgânicos simultânea à redução de CO₂. O segundo ciclo envolveu o estudo sobre DC, bem como as etapas de produção de um TDC e suas características e a posterior produção de TDCs. O terceiro ciclo envolverá o estudo sobre CIs, suas etapas de produção e características e a posterior produção de CIs. Os ciclos ocorreram no âmbito do Grupo PET, considerando o escopo do programa e a parceria prévia na primeira aplicação desse design. É importante ressaltar que o presente trabalho ocorre em paralelo ao terceiro ciclo pois a partir dos TDCs produzidos no âmbito do projeto de extensão, desenvolveu-se o CI proposto. No entanto, a tese de mestrado que propõe uma interface indissociável entre ensino, pesquisa e extensão possui uma investigação mais ampla e irá promover o terceiro ciclo para que os alunos membros do projeto de extensão parceiro nessa pesquisa abarquem em seu desenvolvimento a dimensão do ensino e possam desenvolver CIs.

A pesquisa inspiradora foi uma tese de doutorado pertencente ao grupo de pesquisa GEAR, que atualmente é composto por cinco professores do IQCAr - Unesp, sendo a Prof^ª Dr^a Juliana Ferreira de Brito uma das coordenadoras do grupo e a autora do trabalho. A professora também possui um grupo composto por seus alunos, nomeado de ELECTRON (Electrocatalysis and Nanomaterials for Renewable Energias). A tese envolve a oxidação de poluentes orgânicos presentes na água contaminada por petróleo, concomitantemente à redução de CO₂ para geração de combustíveis como metanol e etanol. Esse projeto de pesquisa propõe um reator híbrido, representado na Figura 4, para que essas reações ocorram

em uma mesma célula de dois compartimentos de maneira simultânea, promovendo a oxidação de poluentes orgânicos em um semicondutor do tipo n e a redução do CO_2 em combustíveis em um semicondutor do tipo p por buracos/elétrons direcionados à superfície do eletrodo, processo amplamente discutido na literatura especializada (Brito *et al.*, 2019b).

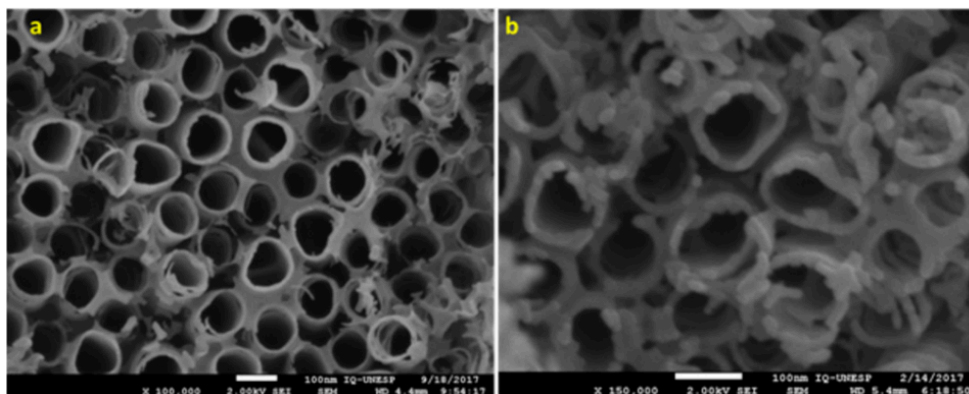
Figura 4 - Esquema representativo da célula eletroquímica com dois compartimentos proposta por Brito *et al.* (2019b).



Fonte: Adaptado de Brito *et al.* (p. 279, 2019b).

No estudo realizado pelos pesquisadores, as análises de microscopia eletrônica de varredura por Emissão de Campo (FEG-SEM, *Field Emission Gun – Scanning Electron Microscope*) revelaram que os nanotubos de TiO_2 possuíam um diâmetro interno de 106 nanômetros e, após a modificação com ZrO_2 , sua espessura passou para 33 nanômetros. A Figura 5 apresenta as imagens obtidas no FEG-SEM dos nanotubos de TiO_2 e nanotubos de $\text{TiO}_2\text{-ZrO}_2$. Essa alteração indica que o eletrodo modificado possui maior área superficial e demonstra um desempenho superior em comparação ao não modificado, pois nele observou-se um aumento da disponibilidade de elétrons para reações no cátodo, onde o CO_2 é reduzido.

Figura 5 - Imagens de vista superior FEG-SEM dos eletrodos de (a) TiO_2/Nt e (b) $\text{NtTiO}_2\text{-ZrO}_2$.



Fonte: Brito *et al.* (p. 279, 2019b).

Além disso, o material modificado apresentou uma melhor separação de carga ao atingir uma alta fotocorrente de $2,85 \text{ mA/cm}^2$, um valor $1,35 \text{ mA/cm}^2$ maior que o material não modificado. Para o fotoanodo acionado em uma célula de dois compartimentos, os elétrons fotogerados são transferidos para o cátodo por meio de um circuito externo. Assim, com uma fotocorrente maior, um maior número de elétrons pode chegar ao cátodo pelo circuito externo, promovendo um aumento na redução de CO_2 . Ao mesmo tempo, os buracos fotogerados presentes na BV do semiconductor também são formados em maior número, oxidando o composto orgânico, gerando prótons que reagem com o radical CO_2 e, então, geram mais combustível.

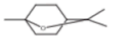
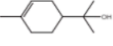
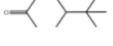
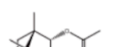
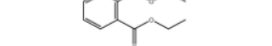
Nesse contexto, a célula precisa de um cátodo que apresente sítios de atividade bem projetados para a redução de CO_2 . Comumente utiliza-se óxido de cobre I (Cu_2O) por ser um bom catalisador para essa reação, no entanto ele apresenta instabilidade à luz, dessa forma, para melhorar a redução eletrocatalítica de CO_2 , eletrodos GDL/ Cu_2O (*Gas Diffusion Layer*, Camada de Difusão de Gás) foram sintetizados por deposição química.

Com os eletrodos sintetizados, caracterizados e a montagem da célula feita, os pesquisadores precisaram definir que poluente orgânico presente na água contaminada na exploração de petróleo deveriam monitorar e utilizar na célula. Em outro trabalho, Brito *et al.* (2019) apresenta uma tabela contendo os compostos orgânicos presentes na amostra de água contaminada, identificados por Cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (GC-MS, *Gas chromatography-mass spectrometry*). Os autores realizaram tratamentos de EC, PEC, ozonização e PEC combinada com ozonização (ozonização fotoeletrocatalítica) para verificar os compostos mais persistentes e, em todos os tratamentos, o álcool benzílico

era o mais recalcitrante, como pode se observar na Figura 6. Dessa forma, selecionou-se o álcool benzílico como composto a ser utilizado nos experimentos pois quando ele fosse oxidado à compostos menos inertes e nocivos ou reduzisse significativamente sua concentração, os demais compostos orgânicos já teriam sido degradados também.

Como resultado final da pesquisa inspiradora, a concentração de álcool benzílico diminuiu de 10 mmol/L para 1 mmol/L, o que resultou em uma degradação de 90%. A utilização dos eletrodos modificados com ZrO_2 se mostrou promissora para converter poluentes em produtos úteis, ressaltando a importância de tecnologias inovadoras para o tratamento de resíduos e produção de energia sustentável. Testes adicionais mostraram que, quando os eletrodos foram utilizados apenas sob irradiação de luz ou com potencial aplicado, sem luz, não houve oxidação significativa do álcool benzílico. Isso significa que a escolha de eletrodos que absorvem luz é importante para a redução do custo nessa pesquisa pois parte da energia utilizada é a solar, diminuindo a quantidade de energia elétrica utilizada. Por fim, ainda foi possível verificar que a redução de CO_2 ocorreu, mesmo que em uma quantidade pequena, pois o tempo de experimento foi de apenas duas horas.

Figura 6 - Compostos identificados por GC-MS e suas respectivas áreas de pico na água residual de petróleo antes e depois de 120 min. de tratamento.

TEMPO DE RETENÇÃO (min.)	COMPOSTO	ESTRUTURA	ÍON MOLECULAR (m/z)	ÁREA ÁGUAS RESIDUAIS	ÁREA APÓS FOTOCATÁLISE	ÁREA APÓS OZONIZAÇÃO	ÁREA APÓS PEC	ÁREA APÓS PEC COMBINADA COM OZONIZAÇÃO
7.78	Benzaldehyde		m/z 105	10653.8	5437.1	6193.2	8701.0	3012.8
10.19	Eucalyptol		m/z 108.1	133085.7	N/A	N/A	N/A	N/A
10.30	Benzyl alcohol		m/z 79.1	113631.5	48126.6	32162.9	21666.3	36281.0
13.89	Bicyclo [2,2,1] heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl		m/z 95.1	207541.5	N/A	N/A	N/A	N/A
15.32	Terpineol		m/z 93.1	15313.5	N/A	N/A	N/A	N/A
16.42	Cyclohexanone 4-(1,1-dimethylethyl)		m/z 98.1	1483302.2	N/A	N/A	N/A	N/A
18.17	Isobornyl Acetate		m/z 93.1	51842.7	N/A	N/A	N/A	N/A
26.00	Diethyl phthalate		m/z 149	27604.6	N/A	N/A	N/A	N/A
30.42	Octadecane		m/z 57.1	26573.7	2037.0	4676.8	2170.5	9779.5
33.60	Hexadecanoic acid		m/z 73.1	22211.4	2457.8	5958.8	1065.0	15420.5
36.93	Oleic acid		m/z 55.1	8661.4	1250.0	2146.7	N/A	N/A
37.34	Octadecanoic acid		m/z 73.1	4894.4	N/A	N/A	N/A	N/A

*N/A – COMPOSTOS QUE NÃO FORAM IDENTIFICADOS APÓS O TRATAMENTO

Condições do tratamento: irradiação de uma lâmpada UV-B de 36 W; fotoanodo de TiO_2/Nt sob 2,5 V vs dois cátodos de haste de grafite; e taxa de entrada de ozônio de $3,85 \times 10^{-4}$ mol/min., entregue a uma taxa de fluxo de O_2 de 3,0 L/min.

Fonte: Adaptado Brito *et al.* (p. H3236, 2019a)

Assim, a pesquisa apresenta uma nova e promissora solução para dois problemas da atualidade: a poluição da água e as mudanças climáticas. A pesquisa demonstra que a PEC é um processo com grande potencial para transformar desafios ambientais em oportunidades. Ao desenvolver um reator híbrido simples capaz de oxidar poluentes orgânicos e reduzir o CO_2 em combustíveis, metanol e etanol, esse sistema inovador apresenta uma perspectiva otimista para um futuro mais sustentável, abrindo caminho para novas pesquisas e aplicações. Outros experimentos estão em progresso, mas há indícios que o sistema proposto é uma maneira mais sustentável e mais amigável ao meio ambiente para o tratamento de água contaminada pelo petróleo, além de atuar, concomitantemente, na produção de combustível (etanol).

Os resultados da pesquisa resultaram em notícias para veículos digitais, como o portal de notícias Click Petróleo e Gas e a agência de notícias Sputnik Brasil, bem como a tese de doutorado da pesquisadora que hoje lidera o GEAr, Juliana Ferreira de Brito, e dois artigos de Brito *et al.* nas revistas *Journal of The Electrochemical Society* e *Electrochimica Acta*. Evidencia-se, então, que o grande público da sociedade dificilmente teria acesso a essa inovadora e relevante pesquisa científica, produzida no âmbito interno da universidade. É possível supor o mesmo em relação aos próprios alunos de graduação pois, na realidade, o que se observa é a limitação do conhecimento das produções científicas aos grupos de pesquisa do mesmo departamento e pesquisadores da área.

Nesse sentido, os TDCs foram produzidos para popularizar o acesso à pesquisa produzida no âmbito da instituição ao público não-especialista, externo ao IQCAR - Unesp bem como ao público interno, como os alunos de graduação e professores de outras áreas de pesquisa. O CI pautado nos TDCs, por sua vez, ao ser aplicado futuramente em uma turma de graduação dessa mesma instituição, terá um contato ainda mais direto com a pesquisa por meio do uso dessa estratégia didática inovadora.

Assim, o CI elaborado neste trabalho, pautado nessa pesquisa e nos TDCs relacionados a essa pesquisa, é apresentado na próxima seção.

5.2 Apresentação do Caso Investigativo e as características que o classificam um “bom caso”

Com a opção pelo formato de Caso Interrompido, a história do CI foi desenvolvida em três partes, de modo que os alunos solucionem uma parte por vez. Espera-se que, a cada etapa, os estudantes possam aplicar os conhecimentos desenvolvidos na etapa anterior e consolidar sua aprendizagem química e o desenvolvimento de competências e habilidades investigativas.

O CI completo elaborado encontra-se no Apêndice A deste trabalho. No entanto, a fim de realizar uma análise das características do CI que o classificam como um “bom caso”, nos Quadros 1 e 2 são apresentadas partes do caso.

Quadro 1 - Parte 1 do CI intitulada “PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?”

(continua)

PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?

Manchas de óleo no Nordeste: o que se sabe sobre o problema

Petróleo cru atingiu 779 localidades e chegou até o Rio de Janeiro.



A substância era a mesma em todos os locais: **petróleo cru**.

O fenômeno **afetou a vida de animais marinhos** e **causou impactos nas cidades litorâneas**.



PORTAL ARARAQUARENSE

Notícia na íntegra: [Manchas de óleo no Nordeste: o que se sabe sobre o problema | Natureza | G1](#)

Anna, uma garota prestes a se formar em química, aumentou a TV, interessada em ouvir melhor sobre a notícia que relembrava o trágico acidente ocorrido no Nordeste há cerca de 5 anos.

Quadro 1 - Parte 1 do CI intitulada “PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?”

(continua)

A jovem de cabelos cacheados e olhos verdes sempre sonhou em ser cientista e apesar de ter crescido ouvindo que essa era uma profissão para “homens, sejam eles gênios ou loucos”, veio do litoral paulista para cursar química na Unesp de Araraquara. Agora que estava em seu último ano, havia conseguido um estágio há poucos meses na empresa BritoBrás, uma das companhias petrolíferas mais conhecidas no ramo.

Como sempre foi curiosa, Anna foi atrás de sua chefe Juliana para tentar entender o que a empresa estava fazendo para evitar problemas como o da reportagem.

Ao chegar no trabalho no dia seguinte, ela teve uma conversa com sua chefe.

- Bom dia, Ju! Queria conversar com você para entender um pouco mais sobre as medidas que a empresa tem tomado para evitar a contaminação das águas durante a extração do petróleo ou, não sei... como a empresa tem cuidado desse problema, sabe?
- Bom dia, Anna. É muito legal ver o seu interesse pelas políticas da empresa — Calmamente, Juliana explicou para Anna que, na verdade, este é um problema para o qual há uma equipe inteira dedicada para propor soluções — Essa água contaminada não pode ser descartada de qualquer maneira, precisando de um tratamento para que possa ser utilizada novamente pela indústria. Nossa empresa realiza uma filtragem dessa água, eliminando a maior parte das substâncias e realizamos o despejo no mar, em uma área muito distante, assim fica diluído e fora de contato direto com as pessoas e monitoramos os níveis dessas substâncias para que não passem do limite permitido.
- Entendi, Ju... mas isso não é preocupante? Porque apesar de filtrar essa água, ela ainda continua com substâncias orgânicas que não foram filtradas e que são tóxicas. Despejando no mar, ainda que em menor concentração dessas substâncias, ainda contamina a água do mar também.
- Sim, é uma questão bem complicada, Anna... Mas precisamos avaliar também o que é economicamente viável para a empresa. Os aspectos ambientais são importantes, mas também precisamos considerar o aspecto financeiro da empresa. Mas é interessante notar que junto dessa questão está atrelado um dos maiores problemas da atualidade: o uso de combustíveis fósseis, como o petróleo. Nesse sentido, nossa equipe especializada busca propor como limpar essa água contaminada e como gerar combustíveis mais limpos, como etanol e metanol.

Quadro 1 - Parte 1 do CI intitulada “PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?”

(continua)

Anna ficou preocupada pois cresceu vendo os impactos ambientais causados nas praias de sua cidade e a família sempre comentava como a praia “não é mais a mesma” com tanta poluição e lixo nas águas. Com cuidado para não se exceder em seus comentários, mas também buscando entender mais sobre o projeto da empresa, a garota conversou com sua chefe até que Juliana decidiu colocar Anna para trabalhar em conjunto dessa equipe para que pudesse entender mais sobre as iniciativas da empresa, trabalhar os conhecimentos adquiridos em sua graduação e contribuir com a sua perspectiva como moradora do litoral.

Na semana seguinte, sentada na sala de reuniões, Anna conheceu o responsável pela equipe, Dr. Moura, e Marina, uma química com experiência em redução de CO_2 . A equipe era composta por outras pessoas, mas Moura e Marina eram os seus supervisores e acompanhariam de perto o seu desenvolvimento.

— Bem, Anna, como você sabe, o projeto é ambicioso — disse Dr. Moura, ajeitando os óculos — Estamos enfrentando dois grandes problemas ao mesmo tempo: a água contaminada por poluentes orgânicos da extração de petróleo e o excesso de CO_2 .

Marina sorriu, ajeitando o curto cabelo castanho, e complementou:

— Queremos que você explore a possibilidade de usar técnicas eletroanalíticas para oxidar esses poluentes e reduzirmos CO_2 para gerar combustíveis.

Anna começou a anotar em seu caderno, animada com o desafio.

— Então, o primeiro passo seria explorar as técnicas eletroanalíticas que poderiam realizar essa oxidação e redução, né? — Anna perguntou enquanto refletia se existia algum jeito de realizar esses processos de maneira simultânea.

— Exatamente! Esse é o ponto. — Disse Moura, contente em ver o interesse da menina.

— É isso mesmo, Anna! Sua tarefa agora é detalhar como essas técnicas podem ser aplicadas. A gente precisa que você entenda como cada uma delas pode contribuir nesse processo. — Marina informou.

— Mas é importante que você também considere o custo que o uso dessas técnicas vai trazer para a empresa. Quando você tiver entendido tudo sobre isso podemos avançar no projeto, tudo bem? — Dr. Moura elaborou — A Marina vai trabalhar com você para que vocês possam elaborar uma apresentação para nossa equipe e a equipe financeira da empresa. Irei supervisionar vocês, mas é parte do desenvolvimento de um bom químico que ele consiga avaliar a viabilidade, riscos e consequências do uso de determinados processos químicos.

Anna e Marina se entreolharam e confirmaram, preparadas para assumir essa responsabilidade.

Quadro 1 - Parte 1 do CI intitulada “PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?”

(conclusão)

Anna saiu da sala com o coração acelerado, uma mistura de ansiedade e animação. Sabia que essa era a oportunidade de mostrar o que havia aprendido, mas também de aprender muito mais no processo e contribuir diretamente em um problema que afetava toda sua família, e não deixaria essa chance passar.

Agora assuma o papel de Anna! Você é o estagiário da Britobrás, trabalhando nesse importante projeto e precisa realizar essa apresentação com todas as informações solicitadas!

Descreva as principais técnicas eletroanalíticas que poderiam ser utilizadas para realizar os processos, **explicando** como cada uma delas funciona e **elencando** os aparelhos, equipamentos e reagentes necessários para o emprego da técnica.

Pesquise a respeito da hipótese de Anna, destacada no texto, e **explique** se há alguma técnica eletroanalítica que torne essa hipótese possível e como seria o seu funcionamento.

Avalie aspectos positivos e negativos de cada técnica, **julgando** qual seria a melhor a ser empregada. Não se esqueça de **justificar** a sua escolha!

Além disso, você deve se lembrar que é de extrema importância para a empresa que você traga os aspectos econômicos da técnica para sua apresentação, então **analise** de que maneira poderia se reduzir esse custo, levando em consideração os princípios da química verde.

Fonte: elaborado pela Autora (2024).

Como é possível observar, a primeira parte do CI possui enfoque nos fundamentos das técnicas eletroanalíticas, direcionando o estudo dos alunos para a fotoeletrocatalise e as características do uso dessa técnica. Na parte 1, as personagens principais são apresentadas, juntamente ao dilema que irá ambientar a história.

Quadro 2 - Parte 2 do CI intitulada “TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO”

(continua)

TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO

Após a aprovação da equipe financeira da empresa, o projeto entrou em sua fase experimental. Baseando-se nas discussões realizadas na apresentação, foram selecionados três métodos eletroanalíticos: a eletrocatalise, fotocatalise e fotoeletrocatalise.

Algumas semanas de intensos experimentos se passaram e Anna, Dr. Moura e Marina se reuniram para revisar os resultados preliminares.

A equipe sabia que, para que a empresa adotasse as novas técnicas, precisavam garantir que elas fossem eficazes e sustentáveis a longo prazo. Para apresentar os resultados para o conselho da Britobrás, a equipe deveria garantir que os dados coletados pudessem ser aplicados para otimizar o processo no futuro, obtendo um ciclo sustentável.

— Então, Marina, como estamos? — perguntou Dr. Moura, olhando os resultados preliminares — Conseguimos oxidar os poluentes e reduzir o CO₂ assim como esperávamos?

Marina respirou fundo antes de responder:

— Ainda estamos analisando todos os dados. Estamos obtendo resultados promissores, mas antes de apresentar os resultados completos, precisamos garantir que estamos avaliando a eficiência corretamente.

Dr. Moura, sempre professoral, aproveitou a oportunidade para desafiar o pensamento crítico das jovens cientistas.

— E como vocês estão planejando garantir isso? — perguntou ele, com um olhar encorajador.

Anna, que até então estava revisando os dados silenciosamente, se manifestou.

— Estávamos considerando algumas técnicas para medir tanto a oxidação dos poluentes quanto a conversão do CO₂, mas ainda estamos em dúvida sobre qual seria a mais precisa e acessível.

— Ótimo ponto, Anna. E o que vocês acham que deve ser avaliado especificamente em cada processo? Como podemos saber que tanto a oxidação quanto a redução foram eficientes? — Dr. Moura perguntou, animado com o raciocínio da estagiária.

Anna e Marina se entreolharam, tentando juntar todas as peças.

— Poderíamos monitorar a concentração dos produtos ao longo do tempo — Anna respondeu.

— Excelente! Mas temos que ser realistas: não podemos monitorar todos os compostos orgânicos na água contaminada. Vocês devem escolher um deles para acompanhar de perto e precisam justificar essa escolha — Dr. Moura as instruiu.

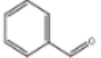
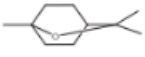
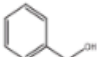
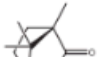
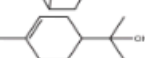
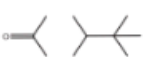
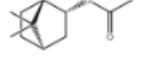
Anna fez uma anotação rápida e acenou com a cabeça.

— Nós reunimos em uma tabela as substâncias orgânicas encontradas na amostra de água de petróleo antes e depois do tratamento com fotocatalise e fotoeletrocatalise. Podemos analisar os dados e fazer essa escolha para continuarmos com os experimentos — Anna concluiu.

Quadro 2 - Parte 2 do CI intitulada “TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO”

(continua)

Figura 1 - Compostos identificados por GC-MS e suas respectivas áreas de pico na água residual de petróleo antes e depois de 120 min. de tratamento.

TEMPO DE RETENÇÃO (MIN.)	COMPOSTO	ESTRUTURA	ÁREA ÁGUA RESIDUAIS	ÁREA APÓS FOTOCATÁLISE	ÁREA APÓS FOTOELETROCATÁLISE
7.78	Benzaldehyde		10653.8	5437.1	8701.0
10.19	Eucalyptol		133085.7	N/A	N/A
10.30	Benzyl alcohol		113631.5	48126.6	21666.3
13.89	Bicyclo [2,2,1] heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl		207541.5	N/A	N/A
15.32	Terpineol		15313.5	N/A	N/A
16.42	Cyclohexanone 4-(1,1-dimethylethyl)		1483302.2	N/A	N/A
18.17	Isobornyl Acetate		51842.7	N/A	N/A
26.00	Diethyl phthalate		27604.6	N/A	N/A
30.42	Octadecane		26573.7	2037.0	2170.5
33.60	Hexadecanoic acid		22211.4	2457.8	1065.0
36.93	Oleic acid		8661.4	1250.0	N/A
37.34	Octadecanoic acid		4894.4	N/A	N/A

*N/A – COMPOSTOS QUE NÃO FORAM IDENTIFICADOS APÓS O TRATAMENTO

Condições do tratamento: irradiação de uma lâmpada UV-B de 36 W; fotoanodo de TiO₂Nt sob 2,5 V vs dois cátodos de haste de grafite; e taxa de entrada de ozônio de $3,85 \times 10^{-4}$ mol/min., entregue a uma taxa de fluxo de O₂ de 3,0 L/min.

Fonte: Adaptado de Brito *et al.* (p. H3236, 2019).

— Ótimo. Assim que tiverem essas análises finalizadas, me mostrem antes de apresentarmos para o conselho. Precisamos estar preparados. Mais alguma coisa que queiram discutir?

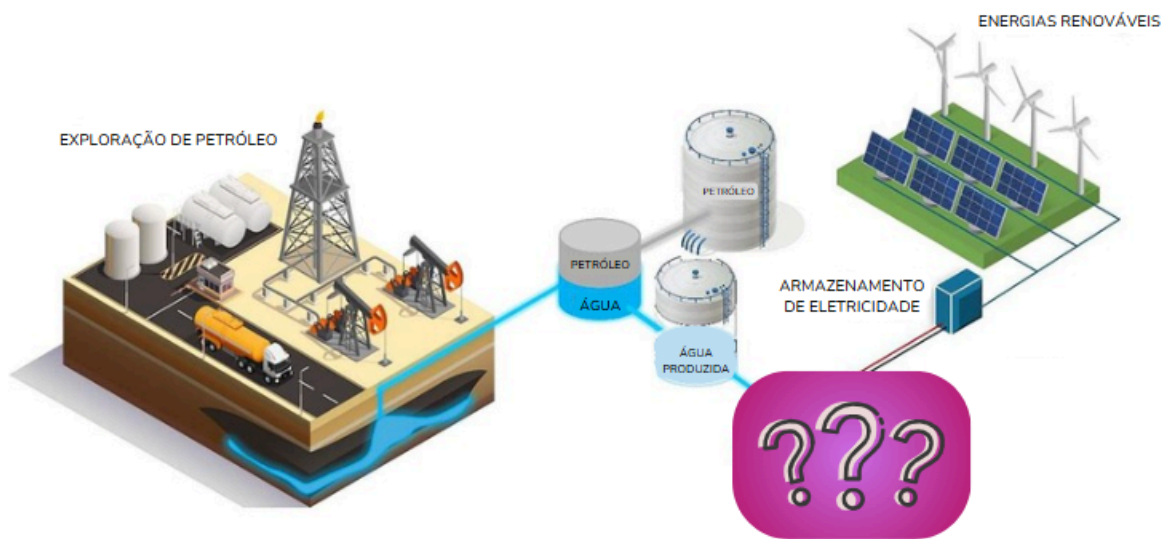
— Bom.. é crucial que a gente também avalie como o processo pode funcionar como um ciclo fechado, nada deve ser desperdiçado — Marina ressaltou — Se conseguirmos demonstrar que todos os subprodutos podem ser reintegrados ao processo ou reutilizados de alguma forma, garantimos que o ciclo seja sustentável.

Quadro 2 - Parte 2 do CI intitulada “TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO”

(continua)

— Nós fizemos uma representação do funcionamento da empresa, olha. — Anna, orgulhosa do trabalho que fizeram, apresentou a imagem ao Dr. Moura.

Figura 2 - Representação da idealização de uma planta de uma indústria petrolífera que utiliza um ciclo fechado.



Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2024).

— Bom trabalho, meninas — Dr. Moura levantou-se, sinalizando o fim da reunião — Ao final do processo, acrescentem nessa representação como o processo seria integrado para que o ciclo seja fechado e mais sustentável.

Os dias que se seguiram foram intensos, com a equipe imersa em estudos e análises. A equipe se reunia constantemente para discutir os resultados obtidos e preparar a apresentação para o conselho da empresa. Sabiam que, caso aprovado o projeto, a Britobrás, empresa que já possuía grande destaque por possuir uma mulher como fundadora e em uma posição de liderança, também seria pioneira ao propor um ciclo fechado em seu processo de extração do petróleo, algo que colocaria a empresa à frente no mercado de inovação e sustentabilidade. Além disso, o projeto era ainda mais especial para Anna pois a implementação do projeto seria capaz de melhorar um processo industrial que afetava diretamente sua família e amigos da cidade natal.

Quadro 2 - Parte 2 do CI intitulada “TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO”

(conclusão)

Para finalizar esse grande desafio, você deve assumir o papel da equipe e preparar a apresentação para o conselho da Britobrás!

Pesquise e descreva as reações químicas envolvidas nesse processo de oxidação dos poluentes orgânicos e na redução do CO₂.

Proponha e explique detalhadamente como você analisaria a eficiência do processo, **explicitando** os seus cálculos.

Argumente qual das técnicas selecionadas pelos pesquisadores você utilizaria.

Não se esqueça de seguir a orientação do Dr. Moura sobre a escolha de um composto orgânico para monitoramento, **justificando** sua seleção com base nos dados experimentais obtidos.

Finalize a apresentação **elaborando** uma estratégia para garantir que o processo funcione como um ciclo fechado, assegurando que todos os subprodutos possam ser reaproveitados no sistema. **Indique** essa estratégia completando a representação do funcionamento da empresa.

Fonte: elaborado pela Autora (2024).

A segunda parte dá continuidade à história e objetiva o estudo da eficiência do processo, estimulando os alunos a transpor os aprendizados obtidos na primeira parte do caso com os métodos eletroanalíticos estudados na disciplina, bem como a análise e discussão de dados experimentais. Nessa parte, também se objetiva a tomada de decisões dos alunos ao selecionarem uma técnica eletroanalítica para o problema exposto no caso, baseado na pesquisa científica inspiradora. A perspectiva é que os estudantes possam avaliar os diferentes aspectos ao tomar uma decisão enquanto profissionais de química, interpretando e discutindo dados experimentais, exercitando sua criatividade e desenvolvendo uma atuação profissional consciente.

Para chegar nessa versão final proposta, o CI passou por um processo de validação interno da RIPEQ, grupo composto por alunos de iniciação científica, alunos de pós-graduação, professores da educação básica e professores universitários. O caso foi apresentado ao grupo de pesquisa, que se dividiu em três grupos de trabalho e, utilizando o

instrumento de avaliação apresentado no Anexo A, realizou uma avaliação do caso e suas características. Cada grupo forneceu um *feedback*, destacando pontos fortes do CI e fazendo comentários acerca dos pontos de melhoria a fim de se obter uma versão final adequada. De maneira consensual, os grupos destacaram a necessidade de aumentar a descrição das personagens, tanto de suas características físicas quanto de suas emoções, e instigar mais a empatia do leitor. É possível destacar alguns trechos demonstrativos de *feedbacks* e comentários realizados pelos membros da RIPEQ: “Seria interessante aumentar a empatia com os personagens. Nossa proposta seria que a Anna morasse na praia, por exemplo, e houve algum problema de derrame de petróleo ou de água contaminada e a família e amigos da Anna são diretamente afetados por isso, e isso aumentaria a urgência e a empatia pela personagem Anna”; “Poderia ter uma descrição mais detalhada dos personagens quanto à personalidade e características físicas”. Outro *feedback* importante feito pelos grupos foi o de alterar a abordagem da temática geral por meio de uma notícia que aproximasse tanto as personagens quanto os leitores da problemática exposta, demonstrado no trecho “Ao invés de colocar uma notícia de TV da ONU, sugerimos uma abordagem que aumente a empatia pela história: pode-se substituir a notícia por um acidente de praia. A Anna e sua família moram no litoral e se viram prejudicadas pelo acidente, criando maior vínculo”. Por fim, em consenso os grupos apontaram a necessidade dos títulos do caso serem chamativos para despertar interesse nos leitores.

Por meio desse processo de validação interno foi possível realizar uma análise crítica do caso de forma a realizar alterações para que uma versão aprimorada fosse obtida. As mudanças necessárias foram incorporadas e revisadas até se obter a versão final proposta neste trabalho.

Com o CI apresentado, é possível discutir suas características que o torna um “bom caso”. De acordo com Herreid (1998), para que um caso seja considerado bom, ele deve narrar uma história com início, meio e fim, ainda que o fim possa não estar explicitado na história (Característica I). O CI apresentado narra a história de Anna, uma graduanda em química do IQCar - Unesp que está atuando como estagiária em uma empresa por estar nos anos finais de sua graduação. Ao final de cada parte do caso o final não está exposto, instigando o leitor a se interessar pela narrativa e pelas questões norteadoras propostas (Característica II). Além disso, ao final de cada parte, exige-se do aluno a discussão sobre a problemática exposta e proposição de soluções para dar continuidade ao caso.

A característica II mencionada é a de que um “bom caso” deve despertar interesse sobre a problemática apresentada, o caso o faz ao não expor seu fim. Além disso, o CI visa o

estudo das técnicas eletroanalíticas, focando na fotoeletrocatalise, técnica inovadora e promissora na área de oxidação de poluentes orgânicos e redução de CO₂. Esse é um conteúdo que extrapola o proposto na estrutura curricular do ensino superior, pois não há um momento previsto nas disciplinas especificamente para essa técnica, mas sim de técnicas similares e bases fundamentais para os conceitos trabalhados na PEC. Dessa forma, o caso apresenta potencial para instigar o interesse dos alunos em investigar o funcionamento dessa técnica, suas características e funcionamento, trazendo contextualização dos alunos para as técnicas e processos explorados atualmente para além dos clássicos abordados na literatura do curso.

Além disso, a ambientação e problemática selecionadas para o caso foram selecionadas de forma que a temática seja considerada atual e relevante, especialmente para alunos de graduação em Química, pois trata-se de um cenário no qual o profissional da área possui habilitação para atuar. Além da contextualização e introdução do problema selecionado ser um acidente de derramamento de petróleo ocorrido no Brasil, em 2019, a exploração da PEC na oxidação de compostos orgânicos e geração de combustíveis também é recente (Característica III). Nesse sentido, o caso segue as recomendações de Herreid (1998) em ser atual, com uma narrativa que se passa dentro dos últimos 5 anos, mostrando a importância e urgência do problema. Apesar da seleção da problemática estar próxima do limite de tempo sugerido pelo autor, foi feita uma pesquisa envolvendo acidentes do tipo e trata-se de um problema recorrente, atual e mundial, notável por meio do Relatório Anual de Segurança Operacional elaborado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) no ano de 2022, relatando 62 incidentes com vazamento em exploração de petróleo em alto mar (Junqueira, 2023). No entanto, buscando aproximar o leitor do caso e reforçando a característica II, escolheu-se ambientar o caso mais recente do tipo no Brasil.

O problema e sua atualidade são bem destacados no trecho: “Anna ficou preocupada pois cresceu vendo os impactos ambientais causados nas praias de sua cidade e a família sempre comentava como a praia “não é mais a mesma” com tanta poluição e lixo nas águas”.

Outra característica essencial para o caso é que ele crie empatia com as personagens principais da narrativa (característica IV), envolvendo o leitor e instigando sua vontade de resolver o problema. Nesse sentido, o caso apresenta diferentes trechos e recursos que instigam o leitor a desenvolver empatia com as personagens centrais, como a descrição física das personagens e a descrição de seus sentimentos e atitudes. Pode-se exemplificar essa característica por meio de diversos trechos como: “A jovem de cabelos cacheados e olhos verdes sempre sonhou em ser cientista (...)”; “Calmamente, Juliana explicou para Anna (...)”; “Marina sorriu, ajeitando o curto cabelo castanho, e (...)” e “Dr. Moura, sempre professoral,

aproveitou a oportunidade para desafiar o pensamento crítico das jovens cientistas.”. Além disso, o contexto da narrativa traz familiaridade aos alunos por se tratar de personagens com atuação profissional parecidos com os possíveis aos graduandos.

É possível destacar, também, a menção de um assunto de extrema importância a ser discutido atualmente na sociedade, como o machismo na ciência: “A jovem de cabelos cacheados e olhos verdes sempre sonhou em ser cientista e apesar de ter crescido ouvindo que essa era uma profissão para ‘homens, sejam eles gênios ou loucos’”, além da superação da personagem do estereótipo machista e uma mudança nos padrões da sociedade: (...) [Anna] veio do litoral paulista para cursar química na Unesp de Araraquara” e “(...) a Britobrás, empresa que já possuía grande destaque por possuir uma mulher como fundadora e em uma posição de liderança (...)”. Ademais, o CI apresenta diálogos entre as personagens e inclui citações, dando vida e drama ao caso (Característica V), aproximando o leitor das personagens. Destacam-se alguns trechos demonstrativos dessas características presentes na maior parte de ambas as partes do caso: “— Bom dia, Anna. É muito legal ver o seu interesse pelas políticas da empresa”; “— Bem, Anna, como você sabe, o projeto é ambicioso” e “— Então, Marina, como estamos?”.

Outra importante característica do caso é que deve ser relevante ao leitor, envolvendo situações passíveis de ocorrerem na vida profissional do leitor (Característica VI). Nesse sentido, é importante relembrar o contexto de aplicação do caso, que prevê essa aplicação em um curso de bacharelado em química do IQCAR - Unesp, na disciplina Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica. O CI aborda diferentes temas tratados na disciplina como as diferentes técnicas eletroanalíticas, os custos e aparelhagem para implementação dessas técnicas e as reações químicas envolvidas nos processos de oxirredução. Esses e outros conceitos são abordados por meio de uma situação simulada passível de acontecer no futuro profissional de químicos. Assim, o conteúdo científico abordado com o CI e a situação apresentada indicam que o CI pode ser considerado relevante aos alunos leitores, que poderão aplicar os conteúdos adquiridos por meio da investigação em seu futuro profissional. Ademais, durante o caso apresentam-se dados experimentais (Figura 1) e um esquema representativo (Figura 2) extraídos de artigos científicos, apresentando, então, dados presentes na rotina diária de um químico.

O CI também estimula o desenvolvimento da argumentação, comunicação oral, criatividade, análise crítica considerando aspectos ambientais e econômicos da atuação profissional de um químico, habilidade de tomada de decisão, entre outras competências essenciais ao profissional da área e previstas nas Diretrizes Nacionais Curriculares para o

curso de Química. Algumas dessas habilidades e competências estimuladas pelo CI e que estão em acordo com as previstas nas Diretrizes Nacionais Curriculares foram descritas por Zucco, Pessine e Andrade (1999) e podem ser destacadas.

A este profissional deve ser possibilitado, durante o curso de graduação, (i) buscar uma formação ampla e multidisciplinar fundamentada em sólidos conhecimentos de Química, que lhe possibilite atuar em vários setores; (ii) desenvolver metodologia e senso de responsabilidade que lhe permita uma atuação consciente; (iii) exercitar sua criatividade na resolução de problemas; (iv) trabalhar com independência; (v) desenvolver iniciativas e agilidade no aprofundamento constante de seus conhecimentos científicos para que possa acompanhar as rápidas mudanças da área em termos de tecnologia e mercado globalizado e deve, ainda, (vi) aprender a tomar decisões, levando em conta os possíveis impactos ambientais ou de saúde pública, quando atuar na implantação de novos processos industriais para a produção de substâncias de uso em larga escala (Zucco; Pessine; Andrade, 1999, p. 455-456).

Esse aspecto respalda outras duas características essenciais para um “bom caso”, são elas: característica VIII, provocar conflitos, e característica IX, forçar a tomada de decisões.

Analisando essas características, o CI provoca conflitos, instigando a argumentação dos alunos para resolverem a questão ao expor a preocupação e envolvimento de Anna com a problemática apresentada no caso. Ao mesmo tempo, expõe a preocupação da personagem em estar em uma empresa que tem participação ativa em um problema que afeta seus familiares, amigos e cidade natal. É possível exemplificar o conflito provocado por meio dos seguintes trechos demonstrativos: “Com cuidado para não se exceder em seus comentários, mas também buscando entender mais sobre o projeto da empresa” e “— Sim, é uma questão bem complicada, Anna... Mas precisamos avaliar também o que é economicamente viável para a empresa. Os aspectos ambientais são importantes, mas também precisamos considerar o aspecto financeiro da empresa.”.

O caso força a tomada de decisões, trazendo urgência e seriedade envolvendo a problemática apresentada ao expor em alguns trechos como o problema afeta diretamente familiares e amigos de Anna, além de destacar a importância da resolução da problemática na visão de mercado da empresa. Essa característica é ressaltada no trecho: “Sabiam que, caso aprovado o projeto, (...) colocaria a empresa à frente no mercado de inovação e

sustentabilidade. Além disso, o projeto era ainda mais especial para Anna, pois sua implementação seria capaz de melhorar um processo industrial que afetava diretamente sua família e amigos da cidade natal”. A tomada de decisão também vem explicitada nas questões orientadoras ao final de cada parte, direcionando as discussões e solicitando diretamente ao aluno leitor que ele faça escolhas, justificando-as.

Há indicativos de que o caso possui utilidade pedagógica (Característica VII), permitindo a discussão de conhecimentos científicos relevantes e relacionados à disciplina ao qual se propõe sua aplicação, conforme Quadro 03 apresentado na próxima seção. Além disso, o CI é generalizável, não tratando de uma curiosidade específica (Característica X), ou seja, o caso aborda diferentes conteúdos por meio de uma situação problemática simulada envolvendo o problema da contaminação da água por compostos orgânicos. Assim, com os conhecimentos investigados, a aplicabilidade do caso é abrangente para diferentes situações, para além de um problema local e prevê-se que os alunos leitores poderão resolver outros problemas que futuramente possam enfrentar em seus futuros profissionais, bem como realizar correlações entre os conteúdos abordados no caso com os conteúdos ministrados em outras disciplinas.

Por fim, Herreid (1998) aponta que um “bom caso” deve ser curto (Característica XI), evitando possíveis distrações e desfoques da narrativa. Em geral, os casos costumam apresentar uma página para que sejam considerados curtos, mas, no contexto do caso do tipo Caso Interrompido, descrito por Herreid (2005), o caso é apresentado em partes e seu tamanho varia com sua complexidade. Pensando no contexto de aplicação do CI proposto neste trabalho, bem como a perspectiva futura de elaboração de uma versão digital do caso para sua aplicação, pode-se concluir que o caso não apresenta o tamanho tradicional para que seja considerado curto, mas considerando as características de seu método e aplicação, o caso não se apresenta como extenso demais de forma a provocar distrações aos alunos leitores.

Diante do exposto, pode-se concluir que o CI proposto apresenta as características necessárias para classificá-lo como um “bom caso”, possuindo utilidade pedagógica, despertando interesse pela problemática e expondo sua urgência e atualidade. Além disso, o caso apresenta uma narrativa envolvente, que cria empatia no leitor e proporciona oportunidades para o desenvolvimento de competências essenciais ao futuro profissional de química.

Na seção a seguir, apresenta-se uma breve descrição da disciplina do curso de graduação na qual o CI proposto será aplicado futuramente.

5.3 Descrição da disciplina do curso de graduação em química na qual o CI pode ser aplicado

A disciplina do curso de graduação em Química, na qual o CI poderá ser aplicado, pertence ao curso de bacharelado em química do IQCAr - Unesp e é denominada “Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica”. Trata-se de uma disciplina de 2 créditos e carga horária de 30 h, que abrange os conceitos teóricos das técnicas eletroanalíticas, seu funcionamento, vantagens e limitações, custos e demais características. Ela é ministrada no segundo semestre do segundo ano letivo do curso de Bacharelado em Química, sendo uma disciplina semestral. No entanto, no mesmo semestre os alunos cursam a disciplina “Química Analítica Instrumental Experimental I”, de 3 créditos e carga horária de 45 h, na qual realizam práticas experimentais das técnicas eletroanalíticas abordadas na disciplina teórica.

De acordo com o Plano de Ensino da disciplina (Anexo B), ela abrange uma ampla gama de técnicas eletroanalíticas. Os objetivos da disciplina envolvem proporcionar conhecimento sobre as técnicas eletroanalíticas, tendo em vista o seu emprego na solução de problemas químicos, o que vai de encontro aos objetivos propostos pelo CI. Na disciplina experimental, são realizadas práticas de aplicação das técnicas abordadas nas aulas teóricas, consolidando os conhecimentos adquiridos pelos alunos.

O Quadro 3 apresenta uma visão geral dos conteúdos ministrados nas disciplinas teórica e prática e foi elaborado por meio da adaptação dos Programas de Ensino das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I presentes nos Anexos B e C, respectivamente.

Quadro 3 - Conteúdo programático das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I.

(continua)

Conteúdo programático		
Tópicos	Descrição do conteúdo para a disciplina teórica	Descrição do conteúdo para a disciplina prática
Introdução aos Métodos Eletroanalíticos	Revisão de conceitos fundamentais: oxirredução, potenciais do eletrodo, correntes em células, equação de Nernst, células eletroquímicas, potencial da	Não há uma prática experimental voltada para esse tópico.

Quadro 3 - Conteúdo programático das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I.

(continua)

	célula e potencial.	
Métodos Potenciométricos	Fundamentos, instrumentação, eletrodos indicadores, eletrodos de referência, potenciometria direta e indireta, titulações potenciométricas e aplicações.	Experimento 1: titulação potenciométrica de neutralização, precipitação e oxirredução e Experimento 2: potenciometria direta envolvendo eletrodos íon-seletivos (EIS).
Métodos Condutométricos	Fundamentos, instrumentação, células de condutometria direta, titulações condutométricas e aplicação direta e indireta.	Experimento 3: titulação condutométrica de neutralização e de precipitação e Experimento 4: condutometria direta
Métodos Eletrogravimétricos	Fundamentos, definição, células e eletrodos, instrumentação, eletrogravimetria a potencial controlado, eletrogravimetria a corrente controlada e aplicações.	Experimento 5: eletrogravimetria.
Métodos Coulométricos	Fundamentos, definição, instrumentação, células e eletrodos, coulometria a potencial controlado, coulometria a corrente controlada e aplicação.	Experimento 6: titulação coulométrica.
Métodos Voltamétricos	Fundamentos, definição, instrumentação, eletrodo gotejante de mercúrio, polarografia, voltametria de varredura linear, voltametria cíclica, técnicas de pulso, voltametria de pulso diferencial, voltametria de onda quadrada e aplicações.	Experimento 7: determinação voltamétrica a) Determinação de ácido ascórbico por meio de voltametria de varredura linear; b) Determinação de ácido N-acetil-p-aminofenol por meio da voltametria de pulso diferencial; c) Determinação voltamétrica da dipirona por meio de voltametria de onda quadrada.

Quadro 3 - Conteúdo programático das disciplinas Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica e Química Analítica Instrumental Experimental I.

(conclusão)

Métodos Amperométricos	Fundamentos, células e eletrodos, instrumentos, titulações amperométricas, titulações biamperométricas, sensores amperométricos, detectores amperométricos.	Não há uma prática experimental voltada para esse tópico.
Métodos hidrodinâmicos	Fundamentos, células e eletrodos, instrumentos, eletrodos rotatórios, eletrodos em fluxo.	Não há uma prática experimental voltada para esse tópico.
Métodos de pré-concentração	Fundamentos, células e eletrodos, instrumentos, pré-concentração, redissolução.	Não há uma prática experimental voltada para esse tópico.

Fonte: elaborado pela Autora (2024).

Dessa forma, é possível pensar que os conceitos específicos de química passíveis de serem abordados com o CI proposto neste trabalho são pertinentes, relevantes e condizentes com o contexto da disciplina.

Com o objetivo de aplicar o CI proposto nessa disciplina, a narrativa foi construída em cima de uma problemática que se relaciona com os leitores tanto como profissionais da área de química quanto cidadãos afetados, direta ou indiretamente, pelo problema. A seção a seguir apresenta uma contextualização da problemática central abordada no CI.

5.4 Contextualização da problemática central do CI

O petróleo é uma das fontes de energia mais importantes no mundo moderno (Brito *et al.*, 2019a). Brito *et al.* (2019a) apontam que apesar de sua grande importância, a exploração do petróleo é responsável não só pela geração de altas concentrações de gases do efeito estufa como também de água contaminada por poluentes orgânicos. Durante o processo de extração, a água é injetada para forçar a saída do poço de petróleo para a superfície, assim, a água entra em contato com alguns componentes orgânicos tóxicos presentes no petróleo, contaminando-a (Sputnik Brasil, 2021).

Os poluentes encontrados podem variar de acordo com a composição do petróleo, que varia com sua localização e fatores geológicos. Entretanto, é possível apontar alguns poluentes comuns que são preocupantes ao meio ambiente e saúde humana como ácidos orgânicos de baixo peso molecular, hidrocarbonetos aromáticos monocíclicos como benzeno, tolueno, fenol e compostos orgânicos aromáticos (Jaramillo-Gutiérrez *et al.*, 2016), alta concentração de cátions como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} e ânions como Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- , traços de metais pesados como cádmio, cromo, cobre, chumbo, mercúrio, níquel, prata e zinco (Ahmadun *et al.*, 2009).

Os métodos utilizados, em geral, para o tratamento dessa água contaminada são filtração, flotação e membrana de separação, os quais envolvem apenas transferência de fase, mas não a degradação ou eliminação dos compostos poluentes. Entretanto, recentemente alguns autores têm estudado tecnologias oxidativas avançadas, como o tratamento eletroquímico e fotocatalítico. Alguns trabalhos relatam o tratamento dessa água utilizando ânodos de óxidos metálicos, oxidação fotocatalítica e oxidação fotoeletrocatalítica utilizando semicondutores de TiO_2 (Brito *et al.*, 2019).

Como mencionado anteriormente, de acordo com o veículo de notícias CNN Brasil em uma matéria publicada maio de 2023, o Relatório Anual de Segurança Operacional elaborado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) no ano de 2022 relatou 62 incidentes com vazamento em exploração de petróleo em alto mar, totalizando em 217,16 m³ de óleo vazado. Segundo a ANP, no Relatório Anual de Segurança Operacional do ano seguinte, foram relatados 270 acidentes relacionados aos poços de petróleo, sendo eles 21 acidentes de descarga menor de substância nociva ou perigosa e 6 acidentes de descarga significativa de substância nociva ou perigosa (Brasil, 2023).

É evidente como a exploração desse recurso tem afetado a água, contaminando-a com substâncias que apresentam grandes riscos de toxicidade para o meio ambiente, principalmente as vidas marinhas, e para a saúde humana. A água contaminada é, por muitas vezes, descartada no meio ambiente sem quantidade de tratamento adequada para a eliminação dessas substâncias, apresentando um alto risco de contaminação de outras fontes de água, as quais, eventualmente, se tornam água de consumo e utilização para a sociedade.

Buscando aproximar ainda mais o leitor dessa problemática e instigar o interesse em resolver o caso, escolheu-se relatar na narrativa do CI o último acidente gravíssimo dessa natureza no Brasil. O desastre na costa brasileira foi identificado no final de agosto de 2019 e a primeira localidade com registro de óleo foi na Praia de Gramame, no município de Conde, na Paraíba (Silva, 2021). As manchas de óleo que contaminaram a costa brasileira atingiram

720 localidades (MAIS..., 2019). Ao final de novembro de 2019, o petróleo já havia afetado 141 animais na costa, dos quais 100 foram localizados mortos. Além disso, na mesma época 96 tartarugas marinhas de diferentes espécies estavam contaminadas (G1, 2019). Já no início de março de 2020, as manchas representavam risco à saúde de 360 mil pescadores artesanais do Nordeste do país (Pena *et al.*, 2020).

Desastres e crimes ambientais como esse expõem ao risco, seja diretamente ou indiretamente, a saúde, a segurança e o bem-estar da população, afetando as atividades socioeconômicas e sanitárias do meio ambiente bem como a qualidade dos recursos ambientais (Silva *et al.*, 2022). Além disso, a vida marinha também é afetada.

Diante dessa problemática, as ações para o tratamento dessa água contaminada pelos poluentes orgânicos presentes no petróleo vêm sendo aprimoradas e pesquisadas, a fim de otimizar esse processo e tornar essa água residual mais útil para o meio industrial, além de mais segura para a população e o meio ambiente. Pesquisadores do GEAR do IQCAR - Unesp desenvolveram um reator híbrido capaz de oxidar os poluentes orgânicos presente em amostras de água residual desse processo e, simultaneamente, reduzir CO₂ à combustíveis. A pesquisa demonstra grande potencialidade ao permitir uma geração de energia que pode ser aplicada dentro do próprio processo industrial e tratar a água, que pode ser reintegrada no processo de exploração do petróleo novamente.

Como mencionado anteriormente, essa pesquisa e os TDCs sobre ela elaborados no âmbito do Grupo PET foram as fontes de inspiração para a escrita do CI proposto neste trabalho. Assim, a próxima seção aborda os conhecimentos gerais passíveis de serem contemplados com a aplicação do CI, contextualizando com a pesquisa desenvolvida pelo GEAR.

5.5 Conhecimentos gerais passíveis de serem abordados no CI

Diante da contextualização do CI, é possível elencar os conhecimentos gerais passíveis de serem abordados com a aplicação do caso. Destacam-se, entre elas:

- *Contaminação da água no processo de exploração do petróleo:* a água contaminada pelo processo de exploração do petróleo, que contém uma variedade de compostos tóxicos, íons em alta concentração e traços de metais pesados, é um tema central no CI. Essa contaminação ocorre devido ao contato da água injetada nos poços para forçar a saída do petróleo para a superfície. Assim, os alunos compreendem melhor como ocorre essa contaminação e os riscos que ela apresenta ao meio ambiente e à saúde humana.

- *Tecnologias e estratégias de tratamento da água contaminada:* o tratamento da água residual contaminada nesse processo é um desafio complexo, que demanda o contínuo desenvolvimento e aprimoramento de técnicas e tecnologias. Nesse sentido, com a aplicação do CI, os alunos poderão pesquisar mais e aprender sobre as estratégias mais utilizadas atualmente para realizar esse tratamento, além de aprender mais sobre a inovação proposta pela pesquisa inspiradora.

A pesquisa inspiradora propõe, nesse contexto, um reator híbrido que possui potencialidade para o tratamento da água contaminada. O reator é uma célula eletroquímica de dois compartimentos: em um ocorre a oxidação dos poluentes orgânicos em CO_2 e água (H_2O); no outro ocorre a redução do CO_2 em metanol e etanol. Para a aplicação no tratamento de água residual o uso do reator proposto torna-se viável pois demonstrou uma diminuição de 90% da concentração de álcool benzílico, o poluente mais persistente na amostra de água. Além disso, ainda que em pouca quantidade devido ao tempo de reação, houve a redução do CO_2 .

5.6 Conhecimentos químicos específicos passíveis de serem abordados no CI

Os conhecimentos químicos específicos pensados para serem abordados com a aplicação do CI são:

- *Amperometria:* a amperometria é uma técnica eletroquímica estudada na disciplina e é utilizada para oxidar ou reduzir uma espécie em solução à medida que a corrente (ou o potencial) é aplicada ao longo do tempo. Nesse caso, é a técnica empregada para realizar as conversões de compostos, pois o potencial é fixo ao longo do tempo. Esse potencial selecionado é o ideal para converter os compostos orgânicos em CO_2 e/ou converter o CO_2 em produtos (metanol e etanol).
- *Coulometria:* é a técnica na qual o fluxo de corrente ao longo do tempo, gerado na amperometria quando utilizamos três eletrodos, define a carga que foi gerada no sistema e pode relacionar a eficiência Faradaica na geração dos produtos.
- *Eletrocatalise:* a eletrocatalise é uma técnica que envolve o desenvolvimento dos eletrodos que aceleram as reações de oxirredução. Nesse contexto, ela é fundamental pois para a reação acontecer, utilizamos a Amperometria como técnica eletroanalítica para dar a energia necessária para o processo de eletrocatalise acontecer.
- *Fotocatalise:* essa técnica utiliza a energia provinda da luz para acelerar reações químicas, sendo também a base para o entendimento das reações que ocorrem no

reator híbrido proposto na pesquisa inspiradora. Além disso, essas técnicas podem ser propostas como resolução do caso. Elas são abordagens importantes no tratamento de poluentes, sendo aplicadas para a degradação de substâncias contaminantes na água.

- *Fotoeletrocatalise*: a fotoeletrocatalise é a técnica proposta na pesquisa inspiradora, que combina eletrocatalise com o uso de luz para promover a oxidação dos compostos orgânicos e a redução de CO_2 . Atualmente é uma das técnicas mais exploradas para o tratamento da água residual e possibilita aos alunos um conhecimento mais aprofundado da eletroanalítica além de explorar sua aplicação em pesquisas recentes, proporcionando uma aprendizagem mais contextualizada aos alunos. Ela relaciona as reações de oxirredução com suas aplicações práticas em tecnologias para o tratamento de água e geração de energia.
- *Voltametria (cíclica e de pulso diferencial)*: a voltametria é uma técnica eletroquímica que permite o estudo das reações de oxirredução em função do potencial aplicado ao sistema. Elas podem ser utilizadas para caracterizar os processos de oxirredução que ocorrem para o tratamento da água (a oxidação dos poluentes orgânicos) e para a geração de energia (a redução de CO_2 em metanol e etanol). Essa técnica pode ser aplicada para monitorar a degradação dos compostos orgânicos poluentes durante o tratamento da água contaminada, atuando como um sensor. Sendo assim, também são técnicas que podem ser propostas na resolução do caso, além de serem previstas no plano de ensino da disciplina.

Esses conhecimentos específicos são essenciais para a compreensão dos alunos acerca dos mecanismos envolvidos na problemática apresentada no CI e suas propostas de resolução. Na próxima seção, apresenta-se a proposta de aplicação do CI, detalhando as etapas para essa implementação, permitindo aos estudantes que explorem as técnicas e conceitos gerais e específicos discutidos nesta e na seção anterior.

5.7 Proposta de aplicação do CI

Como exposto previamente, prevê-se a aplicação do caso para alunos do segundo ano de graduação do curso de Bacharelado em Química do IQCAr - Unesp, no segundo semestre letivo, na disciplina de Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica. Essa escolha se deu por alguns motivos: primeiramente é a única disciplina no curso que prevê o ensino das técnicas eletroanalíticas de maneira aprofundada. Além disso, supõe-se que o uso de uma

estratégia didática ativa nos anos iniciais da graduação pode provocar uma mudança positiva na maneira como o aluno se posiciona no seu processo de aprendizagem, tornando-se mais ativo e desenvolvendo meios para o aprimoramento constante.

Outra importante característica do uso de CIs é o estímulo para o desenvolvimento de diversas habilidades e competências essenciais ao futuro profissional dos alunos, as quais podem ser aprimoradas nos anos seguintes da graduação, aqui é possível destacar algumas delas como: saber trabalhar em equipe; ter curiosidade; ter espírito investigativo e criatividade; ter formação humanística e ter capacidade de difundir o conhecimento relevante para a comunidade.

Por fim, a escolha se deu pela parceria entre os grupos participantes do projeto que visa propor uma interface indissociável entre ensino, pesquisa e extensão, sendo eles um grupo de pesquisa na área de ensino (RIPEQ), um grupo de pesquisa na área de química (GEAr) e um projeto extracurricular que atua integrando ensino, pesquisa e extensão (PET).

Além disso, a aplicação está prevista para no final da disciplina, uma vez que os alunos já terão conhecimento sobre as técnicas eletroanalíticas, além de práticas experimentais que os aproximam dessas técnicas. Dessa forma, entende-se que os estudantes terão fundamento e preparo suficiente para o estudo das técnicas eletroanalíticas mais avançadas e contextualizado a uma situação simulada passível de ocorrer em seus futuros profissionais.

Para a escolha da quantidade de aulas para o desenvolvimento do CI foram realizadas reuniões de análise dos horários de aula, do plano de ensino da disciplina e discussões com a professora responsável pela disciplina. Devido a pequena carga horária disponível na disciplina para desenvolvimento dos conceitos teóricos e assimilação ao conteúdo prático, decidiu-se por propor o desenvolvimento do CI na disciplina como apresentado a seguir.

Para o proposto, serão necessárias 2 aulas para o desenvolvimento do CI, cada uma com 2 horas. Assim, a proposta para a aplicação da primeira parte do caso está ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Etapas propostas para aplicação do CI e o tempo sugerido para cada etapa.



Fonte: elaborado pela Autora (2024).

Inicialmente, sugere-se para os alunos a formação de grupos de 4 a 6 pessoas, podendo ser os mesmos grupos das aulas práticas a depender da quantidade de alunos matriculados na disciplina. Com os alunos organizados em pequenos grupos, espalhados pela sala em pequenas rodas, apresenta-se o caso. O(a) professor(a) ou instrutor(a) inicia explicando o funcionamento da aplicação do CI, esclarecendo possíveis dúvidas sobre o processo. Em seguida, buscando um maior engajamento e atenção dos alunos, a parte 1 do texto pode ser lida em voz alta, selecionando alunos específicos para interpretar as personagens da história.

Após a leitura, os grupos iniciam uma breve discussão sobre a história, identificando a problemática exposta na narrativa e as informações que julgarem pertinentes no caso. Então os grupos devem discutir propostas possíveis de soluções iniciais para a parte 1, realizando um levantamento de suas hipóteses iniciais.

Em seguida, na próxima etapa, os grupos devem realizar uma pesquisa bibliográfica. A proposta é que, caso seja da preferência do(a) professor(a), ele(a) já disponibilize alguma bibliografia para guiar essa pesquisa, mas incentiva-se que cada membro do grupo realize uma pesquisa individual por informações pertinentes para a resolução do caso em artigos científicos, seja em base de dados ou portais de periódicos. Após reunirem as informações relevantes, os alunos do grupo realizam uma socialização dos conhecimentos, de forma que os alunos agreguem diferentes informações e se complementem para que possam propor, juntos, a resolução da parte 1.

Sugere-se que essa resolução seja feita envolvendo todos os membros do grupo, redigindo um texto que responda às questões norteadoras com fundamentação teórica apropriada. Em seguida, sob orientação do(a) professor(a), os alunos se reúnem em um grande

círculo para apresentar as resoluções propostas e discutir sobre elas. A perspectiva dessa discussão é que seja um momento para que os grupos possam incorporar informações ou retificar suas propostas a partir da resolução dos outros grupos e intervenções, quando necessárias, do(a) professor(a). Essa etapa é essencial para que os alunos tenham os conhecimentos, já corrigidos, consolidados.

Para a aplicação da segunda etapa sugere-se uma estrutura similar à anterior, modificando apenas as duas primeiras etapas. No momento inicial, o(a) professor(a) pode orientar que os alunos se organizem em um grande círculo para que possam fazer uma recapitulação da primeira parte e dos conhecimentos consolidados previamente. A leitura e apresentação da segunda parte ocorre enquanto os alunos ainda estão nessa formação e só então separam-se nos mesmos grupos que na etapa anterior para realizarem o levantamento de hipóteses iniciais, seguido do levantamento bibliográfico e socialização do conhecimento entre todos os alunos da classe.

É importante ressaltar que na etapa de discussão geral da segunda etapa sugere-se que os alunos façam um momento reflexivo sobre o CI, suas propostas e a dos demais colegas, bem como os aspectos considerados por cada grupo em seus processos de tomada de decisões. Indica-se que o(a) professor(a) faça uma mediação das discussões, ressaltando os diferentes caminhos para a resolução, validando as respostas dos alunos e fazendo as correções necessárias nos conceitos.

5.8 Habilidades e competências passíveis de serem desenvolvidas com a aplicação do CI

Como exposto anteriormente, os CIs possuem potencial para desenvolver diversas competências e habilidades para além do ensino do conhecimento científico em si. Na seção 2.2 deste trabalho, foram ressaltadas algumas dessas competências, como habilidades cognitivas e capacidade de tomada de decisões bem fundamentadas diante de questões científicas e sociocientíficas (Sá; Queiroz, 2005, 2010) e da busca pela construção do conhecimento de forma crítica, reflexiva e autônoma (Selbach *et al.*, 2021).

Tendo em vista todas essas características apresentadas anteriormente e na aplicação do CI, é possível elencar uma série de habilidades e atitudes que são passíveis de serem desenvolvidas a partir de sua aplicação. Dentre elas, pode-se citar:

- *Comunicação oral e escrita*: a aplicação do CI prevê que os alunos realizem discussões em grupo acerca de suas pesquisas e ideias. Assim, eles irão compor uma resposta escrita para fornecer ao(a) professor(a) e colegas. Com isso os alunos são

incentivados a expressar suas ideias de forma a se fazerem entendido, tanto de maneira oral quanto escrita.

- *Trabalho em equipe*: na aplicação do caso, também se prevê a dinâmica de resolução da problemática exposta na narrativa por meio de grupos de alunos. Simulando um ambiente profissional, a colaboração de cada um, divisão de tarefas e a forma como irão se organizar proporciona aos alunos o desenvolvimento da habilidade de trabalhar em equipe de maneira eficiente e respeitosa.
- *Habilidade de tomada de decisão e argumentação*: por meio dos momentos de socialização previstos na aplicação do caso, os alunos são estimulados a realizar uma argumentação sólida de suas pesquisas, hipóteses e escolhas. Além disso, o caso exige a tomada de decisão, dessa forma, os alunos podem desenvolver a habilidade de tomar decisões bem fundamentadas, considerando os impactos ambientais e socioeconômicos em sua futura atuação profissional.
- *Pesquisas em periódicos científicos e bases de dados*: a pesquisa acadêmica é um elemento central na aplicação proposta, incentivando os alunos a buscarem informações e conhecimentos em fontes científicas confiáveis. Entende-se que essa habilidade é essencial para a formação acadêmica e profissional dos estudantes, tanto para os que visam uma carreira acadêmica e que terão contato diário com a pesquisa em bases de dados e periódicos, quanto para os que visam uma carreira industrial, que deverão buscar aperfeiçoamento constante e atualização na área.
- *Resolução de problemas*: para propor resoluções ao caso, os alunos deverão passar por diversas etapas que desenvolvem a capacidade de solucionar problemas de maneira consciente. Eles deverão fazer a identificação e definição do problema, o levantamento de hipóteses iniciais, a pesquisa de informações confiáveis e relevantes, bem como o entendimento dos resultados da pesquisa, discussão interna entre os grupos e, por fim, uma discussão geral com os demais alunos e professor(a). Entende-se que todas essas etapas estimulam e contribuem para o desenvolvimento dessa habilidade.
- *Iniciativas no aprofundamento constante*: com a exposição de uma problemática atual e das tecnologias recentes exploradas para resolvê-la, o conhecimento dos alunos fica mais contextualizado. Dessa forma, por meio da estratégia ativa de colocar os estudantes como protagonistas no seu processo de aprendizagem, estimula-se que os alunos desenvolvam iniciativas para acompanhar as rápidas mudanças tecnológicas da área.

Dessa forma, é possível observar que a aplicação do CI se aprofunda para além do ensino do conteúdo científico e estimula o desenvolvimento de competências essenciais para uma atuação profissional mais ética e cidadã. A estratégia didática do uso de CIs se demonstra em concordância com as habilidades previstas no projeto pedagógico do curso de Bacharelado em Química e em Química Tecnológica do IQCAr - Unesp, incluindo capacidade e interesse no autoaperfeiçoamento contínuo, curiosidade e espírito investigativo, e visão ética e humanística.

Ao expor a problemática central e como ela afeta a protagonista do CI e a população, o caso provoca conflitos, trabalhando a consciência da importância social da profissão. Ao direcionar os alunos a realizarem pesquisas em bases de dados e portais de periódicos juntamente ao fato da temática central do CI ser atual e contextualizada às pesquisas científicas desenvolvidas na universidade, o CI proporciona a habilidade de saber identificar e fazer busca nas fontes de informações relevantes para a Química, inclusive as disponíveis nas modalidades eletrônica e remota, que possibilitem a contínua atualização técnica, científica e humanística. O CI propõe uma análise da problemática bem como a proposta de soluções, desenvolvendo a habilidade de saber identificar e apresentar soluções criativas para problemas relacionados com a Química. A proposta do CI ser aplicado em pequenos grupos desenvolve o trabalho em equipe, além de estimular o desenvolvimento da empatia dos alunos, o que proporciona uma formação humanística, respeitando o bem-estar dos cidadãos.

Por fim, visando o desenvolvimento de todas essas habilidades e competências, na próxima seção apresentam-se as resoluções sugeridas para o CI.

5.9 Resoluções sugeridas para o CI e indicação da melhor solução

Como optado pelo método do caso interrompido, esta seção apresenta resoluções sugeridas para cada uma das partes do caso. Vale ressaltar, conforme aponta a literatura especializada, que a resolução de CI não deve seguir um padrão rígido e linear, abarcando diferentes caminhos e formas de argumentação e encadeamento de evidências. O(a) professor(a) deve estar familiarizado(a) com as características do uso de CI em aulas de ciências, a fim de evitar uma avaliação meramente somativa e reducionista da produção dos estudantes.

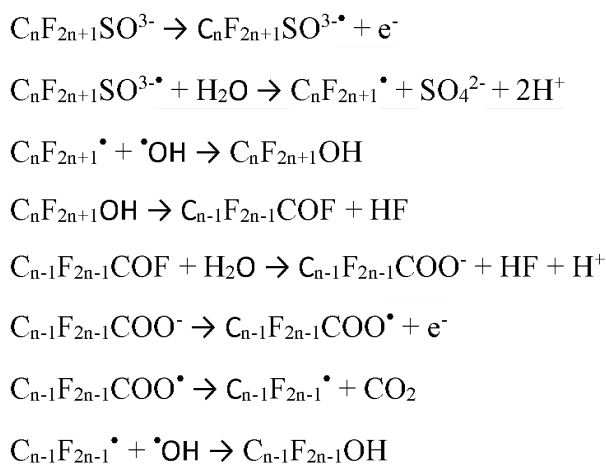
5.9.1 Resoluções da Parte 1 do CI

Na primeira parte do caso, espera-se que os alunos investiguem os fundamentos das técnicas eletroanalíticas capazes de realizar a oxidação dos poluentes orgânicos e a redução de CO_2 em metanol e etanol, detalhando suas características de funcionamento e equipamentos necessários para o emprego dessas técnicas. Espera-se, também, que os estudantes cheguem à conclusão de que a eletrocatalise é uma técnica capaz de realizar esses processos simultaneamente.

Além disso, espera-se que os alunos discutam aspectos positivos e negativos de cada técnica analisada por eles, selecionando a que consideram mais adequada para a resolução da problemática, considerando aspectos ambientais, econômicos e sociais.

A eletrocatalise é uma técnica possível de ser aplicada para a resolução do caso. O princípio da técnica está no uso de catalisadores para acelerar reações de oxirredução. Há estudos sobre o uso dessa técnica para degradação de poluentes orgânicos halogenados (HOPs, do inglês *Halogenated organic pollutants*). Essas substâncias são muito estáveis devido às altas energias de suas ligações C-X (X = F, Cl, Br, I), no entanto, devido às ótimas habilidades oxidativas e de mineralização da oxidação eletrocatalítica, a técnica possui vantagens de aplicação e potencialidade para otimizar os processos oxidativos dos HOPs (Zhuo *et al.*, 2022). A Figura 8 exemplifica o mecanismo de oxidação de um HOP persistente e bioacumulador, os ácidos perfluorossulfônicos, como ácido perfluorooctanossulfônico (PFOS), em carboxilatos perfluorados, que são tipicamente menos tóxicos e apresentam menos riscos significativos à saúde e ao meio ambiente.

Figura 8 - Mecanismo de oxidação de um HOP.



Fonte: Adaptado de Zhuo *et al.* (2022).

Para o emprego dessa técnica, são necessários: uma célula eletroquímica com ânodo e cátodo, uma fonte de corrente controlada, um eletrólito (geralmente uma solução aquosa de ácidos ou bases) e eletrodos (geralmente de platina ou grafite). Como aspectos positivos da técnica é possível ressaltar que ela é relativamente simples de se implementar e proporciona reações eficientes com uma grande variedade de substâncias. Em contrapartida, o custo do material catalisador pode ser elevado.

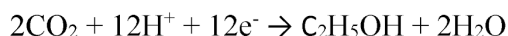
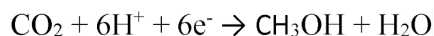
A fotocatalise é outra técnica possível de resolução para o caso. Seu funcionamento é semelhante ao da eletrocatalise, no entanto utiliza-se da energia provinda de fontes de luz para promover uma aceleração nas reações de oxirredução, dessa forma, seu uso possui um menor gasto de energia elétrica e pode tornar o processo mais alinhado aos princípios da Química Ambiental. No entanto, deve-se avaliar outras variáveis de custo para o emprego da técnica como o valor do eletrodo de TiO_2 . Em seu trabalho, Khaki *et al.* (2017) fazem uma revisão do emprego dessa técnica para degradação de poluentes orgânicos, sendo uma possível indicação de bibliografia para que os alunos investiguem mais sobre a técnica e seu funcionamento.

Para o emprego da técnica, são necessários uma fonte de luz UV, fotoanodo (geralmente de TiO_2), cátodo e um sistema de monitoramento de temperatura e pH. As vantagens da técnica estão justamente no uso de uma fonte de energia provinda da luz, promovendo a sustentabilidade. No entanto, a eficiência da técnica depende da intensidade da luz e da área do fotoanodo, sendo assim, muitas vezes a técnica não possui eficiência adequada.

Dessa forma, a melhor solução para o caso seria a proposta da técnica fotoeletrocatalise, que combina os conceitos de ambas as técnicas descritas acima. A técnica tem exibido maior potencial do que a fotocatalise e o processo de eletrooxidação individualmente (Cao; Zhao, 2017). Além disso, estudos demonstram que a PEC possui um bom desempenho na degradação de poluentes orgânicos recalcitrantes como fenóis, surfactantes, corantes e pesticidas orgânicos (Zhang, 2012).

Essa técnica é a abordada na pesquisa inspiradora e ela possui potencial para promover ambas as reações de interesse simultaneamente (Brito *et al.*, 2019b). As reações que ocorrem estão representadas na Figura 9:

Figura 9 – Reações de oxidação dos poluentes orgânicos e redução de CO₂ em metanol (CH₃OH) e etanol (C₂H₅OH) que ocorrem no reator híbrido proposto por Brito *et al.* (2019b).



Fonte: Adaptado de Brito *et al.* (2019b).

Nesse caso, os equipamentos necessários são uma fonte de luz UV, fotoanodo (geralmente de TiO₂) e cátodo, sistemas de monitoramento da reação e sistema de controle de corrente e tensão. As vantagens da técnica estão na combinação de uma fonte de energia de luz com uma fonte de energia elétrica, diminuindo a quantidade de energia elétrica necessária para promover as reações e em permitir a redução de CO₂ simultânea a oxidação dos compostos orgânicos. Sua desvantagem pauta-se na necessidade de materiais de alta qualidade, podendo elevar o custo da técnica.

Além disso, espera-se que os estudantes investiguem e proponham como resolução o monitoramento da degradação dos poluentes orgânicos pelo emprego das técnicas de voltametria, especialmente a voltametria cíclica e a voltametria de pulso diferencial (Guzsvány *et al.*, 2008; McCormick, 2023).

Na voltametria cíclica a voltagem aplicada a um eletrodo de trabalho é varrida de forma cíclica enquanto mede-se a corrente. Ela poderia ser utilizada para estudar a dinâmica das reações de oxirredução, identificar os potenciais envolvidos nas reações e fornecer informações sobre intermediários de reação. Enquanto a voltametria de pulso diferencial é uma variação da voltametria que aplica pulsos de correntes enquanto a voltagem é aumentada, aumentando a sensibilidade da técnica. Para o CI proposto, ela poderia ser utilizada para estudar as reações de oxirredução com baixa concentração, detectando e quantificando a degradação dos poluentes e redução do CO₂.

Por fim, para concluir a primeira parte do caso, espera-se que os alunos discutam os diversos aspectos que contribuem para o custo das técnicas, focando, principalmente, no fato de que realizando as reações de maneira simultânea. O CO₂ gerado na oxidação dos poluentes orgânicos poderia ser reduzido à combustíveis, os quais podem ser aplicados para contribuir na energia utilizada pela própria empresa nesse processo e a água, após tratada, poderia ser reutilizada no processo de extração do petróleo.

5.9.2 Resoluções da Parte 2 do CI

Na segunda parte do caso, espera-se que os estudantes investiguem maneiras de se monitorar a eficiência dos processos propostos na primeira parte do caso, analisem dados experimentais retirados da pesquisa inspiradora e tomem decisões bem fundamentadas, exercitando a criatividade.

As reações químicas envolvidas no processo estão representadas na seção 5.9.1 e foram retiradas da pesquisa inspiradora, além disso não se espera que os alunos proponham os mecanismos de reação, apenas reconheçam quais os compostos envolvidos em cada uma, utilizando os conhecimentos de química adquiridos até o presente momento na graduação.

Para a análise da eficiência, espera-se que os alunos façam sugestões como o uso de monitoramento da concentração de compostos orgânicos antes de depois do tratamento por cromatografia gasosa, como proposto na pesquisa inspiradora. Como melhor resposta, espera-se que os alunos façam a transposição do conhecimento adquirido nas aulas expositivas da disciplina e proponham esse monitoramento e cálculo com base em uma técnica eletroanalítica abordada no semestre, a coulometria. Essa técnica realiza a medida da corrente gerada ao longo do tempo de reação, sendo assim, as espécies presentes e suas concentrações afetam o valor de corrente medido. Durante a aplicação do caso, o(a) professor(a) pode selecionar uma espécie de interesse, como o etanol, um valor de corrente, tempo de reação, concentração e volume da espécie. Com esses dados, os alunos utilizam os fundamentos teóricos da técnica coulometria para calcular a eficiência faradaica do processo. Os alunos utilizam a Primeira Lei de Faraday, que relaciona a massa molar do composto, a corrente, o tempo de reação e o número de elétrons envolvidos nessa reação para determinar a massa da substância eletrolisada. Os alunos podem realizar os cálculos para o valor de massa teórico e com os valores de concentração e volume fornecidos, realizar a comparação da eficiência do processo. As equações a serem utilizadas pelos alunos são:

$$m = \frac{MM \times i \times t}{n \times F}$$

$$C = \frac{n}{V}$$

$$n = \frac{m}{MM}$$

$$e (\%) = \frac{\text{massa real}}{\text{massa calculada}} \times 100$$

Sendo os termos utilizados nas equações “m” para massa, “MM” para massa molar, “i” para corrente, “t” para tempo, “n” para número de moles, “F” para o valor da constante de Faraday, “C” para concentração, “V” para volume e “e(%)” a eficiência do processo em porcentagem.

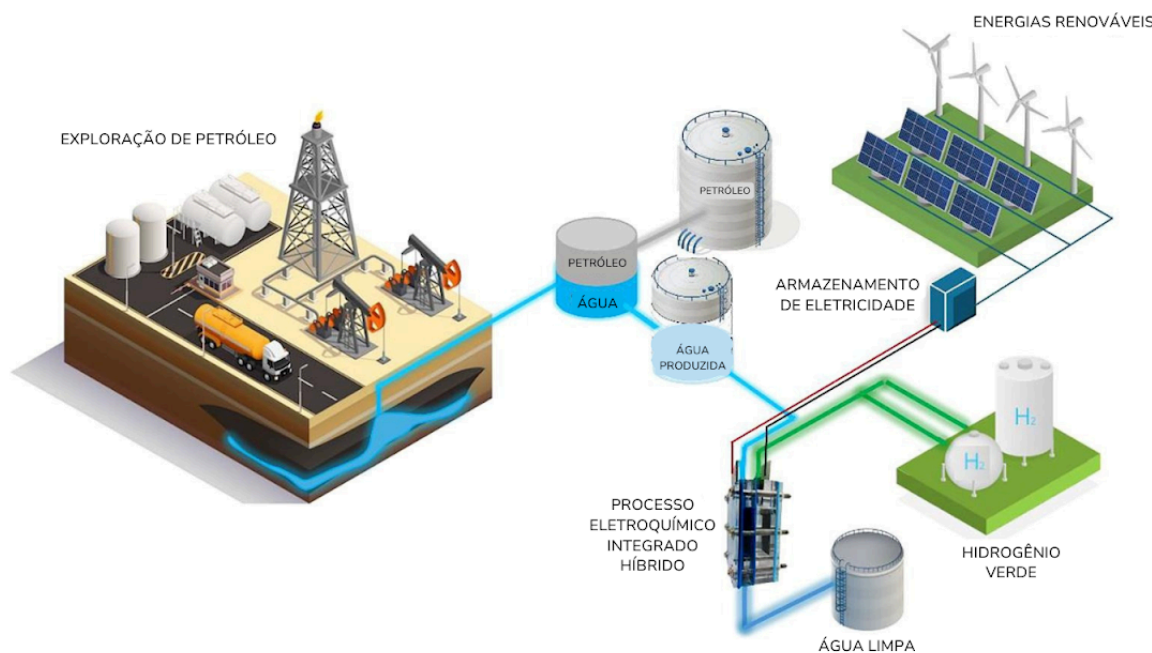
Espera-se que os alunos analisem a tabela apresentada na figura 1 da parte 2 do caso para argumentarem que composto orgânico selecionaram para monitorar. A melhor solução seria selecionar o álcool benzílico, como selecionado pelos pesquisadores do GEAr, pois ele se apresenta como o mais recalcitrante, mantendo maior concentração mesmo após a aplicação dos tratamentos. Dessa forma, quando ele apresenta baixa concentração, indicando sua oxidação, os demais compostos orgânicos já foram degradados também.

Em relação à indicação de melhor técnica, espera-se que os alunos discutam os aspectos estudados na primeira parte do caso e em suas pesquisas na segunda parte para concluir que a melhor técnica a ser adotada, baseando-se na eficiência, viabilidade econômica e sustentabilidade é a fotoeletrocatalise. O uso dessa técnica permite a oxidação simultânea dos poluentes orgânicos simultaneamente à redução de CO₂ em combustíveis. A combinação da fotocatalise e da eletrocatalise possibilita maximizar a eficiência, aproveitando o subproduto gerado (CO₂) ao incorporá-lo no processo e gerando energia que poderia ser utilizada na empresa e aplicando a água tratada no processo de extração do petróleo e, assim, proporcionando um ciclo fechado, reduzindo os impactos ambientais do processo.

Os aspectos econômicos e da Química Verde envolvidos tratam justamente da proposição de um ciclo fechado, reduzindo gastos para a empresa e minimizando o desperdício ao incorporar resíduos no processo.

Por fim, espera-se que os alunos completem a ilustração apresentada no caso de forma que demonstre esse ciclo fechado, como apresentado na Figura 10.

Figura 10 - Representação da idealização de uma planta de uma indústria petrolífera que utiliza um ciclo fechado de água gerando energia com o tratamento de seus resíduos.



Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2024).

Em síntese, as interpretações dos alunos devem ser detalhadas em seus processos de tomada de decisões, reunindo os conhecimentos estudados por meio das aulas expositivas prévias à aplicação do CI juntamente aos conhecimentos das aulas experimentais, que vão de encontro aos assuntos abordados nas aulas teóricas. O conhecimento dos alunos será construído de maneira investigativa e ativa por eles, de maneira progressiva e contextualizada.

6 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que foi possível elaborar um caso investigativo sobre técnicas eletroanalíticas, especificamente fotoeletrocatalise, a partir de TDCs, produzidos no âmbito do Grupo PET Química, sobre uma pesquisa científica desenvolvida no IQCAr - Unesp pelo GEAr. O CI apresentou as características indicadas pela literatura especializada para ser classificado como um “bom caso”. O CI proposto aborda diferentes conhecimentos gerais e conhecimentos químicos específicos acerca das técnicas eletroanalíticas passíveis de serem abordados. Além disso, o CI apresenta aspectos que estimulam o desenvolvimento de habilidades e competências essenciais para a formação profissional de químicos previstas nas Diretrizes Curriculares Nacionais. Dentre elas, é possível destacar o trabalho em equipe, a argumentação, a criatividade, o desenvolvimento de iniciativas para aperfeiçoamento constante e a busca por atualizações dos avanços na área, a resolução de problemas de maneira reflexiva, crítica e cidadã, a capacidade de tomada de decisões bem fundamentadas considerando diversos aspectos ambientais, econômicos e sociais.

É possível dizer que o diferencial do CI proposto reside em sua fonte de inspiração principal: TDCs elaborados no âmbito de um grupo de extensão do IQCAr - Unesp. O presente trabalho é parte de uma investigação mais ampla que busca promover uma interface, indissociável, entre ensino, pesquisa e extensão, por meio da parceria de diversos grupos. A pesquisa foi desenvolvida por um grupo de pesquisa (GEAr, que realizou uma pesquisa sobre fotoeletrocatalise para oxidação de poluentes orgânicos simultânea à redução de CO₂ em metanol e etanol), a qual foi inspiração para a produção de TDCs elaborados no âmbito de um grupo de extensão (PET Química). Os TDCs produzidos foram utilizados como fonte de inspiração para a elaboração do CI proposto, promovendo inovação no ensino de química da graduação por meio da parceria com um grupo de pesquisa em ensino de química (RIPEQ).

Como perspectivas futuras, o CI elaborado será registrado com um produto educacional do tipo Material Didático, sendo um produto de apoio com fins didáticos na mediação de processos de ensino e aprendizagem. Além disso, será elaborada uma versão digital do CI, com o objetivo de promover um engajamento e interesse ainda maiores nos alunos. Por fim, o CI será aplicado em uma disciplina da graduação do curso de bacharelado em química da mesma instituição, a qual se relaciona diretamente com os conteúdos que são contemplados no CI, além de proporcionar um panorama da problemática central apresentada na narrativa do caso e contextualizar o aprendizado.

REFERÊNCIAS

AHMADUN, F. *et al.* Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2-3, p. 530-551, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.05.044>. Acesso em: 08 nov. 2024.

ARAÚJO, D. M. de *et al.* Produced water electrolysis with simultaneous green H₂ generation: From wastewater to the future of the energetic industry. **Fuel**, v. 373, p. 132369, 2024. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236124015175?via%3Dihub>. Acesso em: 09 nov. 2024.

BACCARO, A. L. B.; GUTZ, I. G. R. Fotoeletrocatalise em semicondutores: dos princípios básicos até sua conformação à nanoescala. **Química Nova**, v. 41, n. 3, p. 326-339, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170174>. Acesso em: 06 nov. 2024.

BESSEGATO, G. G. *et al.* Achievements and trends in photoelectrocatalysis: from environmental to energy applications. **Electrocatalysis**, v. 6, p. 415-441, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12678-015-0259-9>. Acesso em: 09 nov. 2024.

BOROCHOVICIUS, E.; TORTELLA, J. C. B. Aprendizagem baseada em problemas: um método de ensino-aprendizagem e suas práticas educativas. **Ensaio: avaliação e políticas públicas em educação**, v. 22, n. 83, p. 263-293, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-40362014000200002>. Acesso em: 12 set. 2024.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado Federal, 2016. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em: 27 jun. 2024.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **Relatório anual de segurança operacional de 2023**. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/arq/raso/2023-relatorio-anual-seguranca-operacional.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2024.

BRASIL. Parecer CNE/CES 1.303 de 4 de dezembro de 2001. Diretrizes Curriculares Nacionais para os Cursos de Química. **Diário Oficial da União**, Seção 1, Brasília, DF, 7 dez. 2001, p. 25. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/cne/arquivos/pdf/CES1303.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

BRITO, J. F. de *et al.* Combination of photoelectrocatalysis and ozonation as a good strategy for organics oxidation and decreased toxicity in oil-produced water. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 166, n. 5, p. H3231, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1149/2.0331905jes/pdf>. Acesso em: 09 nov. 2024.

BRITO, J. F. de *et al.* Turning carbon dioxide into fuel concomitantly to the photoanode-driven process of organic pollutant degradation by photoelectrocatalysis. **Electrochimica acta**, v. 306, p. 277-284, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2019.03.134>. Acesso em: 09 nov. 2024.

CAO, D.; WANG, Y.; ZHAO, X. Combination of photocatalytic and electrochemical degradation of organic pollutants from water. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 6, p. 78-84, 2017. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223617300226?casa_token=GTSEnfTOfOYAAAAA:rCKZF_TWQqit5j2c4RggtUfNu091LQRBzqsNQsNIYTmdmQT_iQyQVwHa8PiOcrgetTqgTiQ2. Acesso em: 09 nov. 2024.

CARDEÑA, R.; CERCADO, B.; BUITRÓN, G. Microbial electrolysis cell for biohydrogen production. In: PANDLEY, A. (Ed.); MOHAN, S. V. (Ed.); CHANG, J. (Ed.); HALLENBECK, P. C. (Ed.); LARROCHE, C. (Ed.). **Proceedings of the Electrochemical Society**. New York: Elsevier, 2023, p. 159-185. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64203-5.00007-1>. Acesso em: 09 nov. 2024.

CLIFF, W. H.; CURTIN, L. N. The directed case method. **Journal of College Science Teaching**, v. 30, n. 1, p. 64, 2000. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/febff672c77a2447f8098a13d680acc6/1?pq-origsite=gscholar&cbl=49226>. Acesso em: 10 dez. 2024.

COSTA, M. J. dos S. *et al.* Transition metal tungstates AWO_4 ($\text{A}^{2+} = \text{Fe}, \text{Co}, \text{Ni}, \text{and Cu}$) thin films and their photoelectrochemical behavior as photoanode for photocatalytic applications. **Journal of Applied Electrochemistry**, v. 53, n. 7, p. 1349-1367, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10800-023-01851-w>. Acesso em: 10 dez. 2024.

FARIAS, M. S F.; MENDONÇA, A. P. **Imagem elaborada no Grupo de Trabalho Produto Educacional da Área de Ensino da CAPES**. Brasília, Set. 2019. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/actio/article/view/12657/7658>. Acesso em: 10 dez. 2024.

FRANCISCO, W. Uma releitura das características para um bom? Caso: tecendo aproximações com as crônicas narrativas. **Revista debates em ensino de química**, 8(1), 183-201, 2022. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/REDEQUIM/article/view/5027/482484636>. Acesso em: 05 nov. 2024.

GONÇALVES, N. G. Indissociabilidade entre ensino, pesquisa e extensão: um princípio necessário. **Perspectiva**, v. 33, n. 3, p. 1229-1256, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2175-795X.2015v33n3p1229>. Acesso em: 12 set. 2024.

GUZSVÁNY, V. *et al.* Monitoring of photocatalytic degradation of selected neonicotinoid insecticides by cathodic voltammetry with a bismuth film electrode. **Electroanalysis: An International Journal Devoted to Fundamental and Practical Aspects of Electroanalysis**, v. 20, n. 3, p. 291-300, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/elan.200704057>. Acesso em: 09 nov. 2024.

HERREID, C. F. Cooking with Betty Crocker. **Journal of College Science Teaching**, v. 29, n. 3, p. 156-158, 2000. Disponível em: https://static.nsta.org/case_study_docs/resources/Cooking_with_Betty_Crocker.pdf. Acesso em: 13 nov. 2024.

HERREID, C. F. What makes a good case? **Journal of College Science Teaching**, v. 27, n. 3, p. 163-169, 1998. Disponível em:

<https://www.ecsb.org/wp-content/uploads/2016/09/What-Makes-a-Good-Case.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

JARAMILLO-GUTIÉRREZ, M. I. *et al.* Photoelectrocatalytic hydrogen production from oilfield-produced wastewater in a filter-press reactor using TiO₂-based photoanodes.

Catalysis Today, v. 266, p. 17-26, 2016. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.cattod.2015.12.008>. Acesso em: 13 nov. 2024.

KHAKI, M. R. D. *et al.* Application of doped photocatalysts for organic pollutant degradation-A review. **Journal of Environmental Management**, v. 198, p. 78-94, 2017.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1389556716300740>.

Acesso em: 09 nov. 2024.

MAIS de 700 localidades foram atingidas por manchas de óleo no litoral brasileiro, diz Ibama. **G1**, 21 nov. 2019. Disponível em:

<https://g1.globo.com/natureza/desastre-ambiental-petroleo-praias/noticia/2019/11/21/mais-de-700-localidades-foram-atingidas-por-manchas-de-oleo-no-litoral-brasileiro-diz-ibama.ghtml>.

Acesso em: 08 nov. 2024.

MATTASOGLIO NETO, O.; SOSTER, T. S. **Inovação Acadêmica e Aprendizagem Ativa**. Porto Alegre: Penso Editora, 2017. *E-book*.

MCCORMICK, W. **The application of voltammetric techniques for the detection and monitoring of the photocatalytic degradation of organic pollutants in water**. 2023. Tese (Doutorado em Filosofia) - Queen's University, Belfast, 2023. Disponível em:

https://pureadmin.qub.ac.uk/ws/portalfiles/portal/471056734/PhD_thesis_Wesley_McCormick.pdf. Acesso em: 09 nov. 2024.

PACHECO, W. F. *et al.* Voltametrias: uma breve revisão sobre os conceitos. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 4, p. 516-537, 2013. Disponível em:

<https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/380/345>. Acesso em: 13 nov. 2024.

PAZINATO, M. S.; BRAIBANTE, M. E. F. O estudo de caso como estratégia metodológica para o ensino de Química no nível médio. **Ciências e ideias**, v. 5, n. 2, p. 1-18, 2014.

Disponível em: <https://revistascientificas.ifrj.edu.br/index.php/reci/article/view/317>. Acesso em: 19 set. 2024.

PENA, P. G. L. *et al.* Derramamento de óleo bruto na costa brasileira em 2019: emergência em saúde pública em questão. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, p. e00231019, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0102-311X00231019>. Acesso em: 08 nov. 2024.

PRIMO, C. M. **Como tornar indissociáveis ensino, pesquisa e extensão na Química? Um estudo sobre implementação de um design inovador sobre MOFs luminescentes**. 2023.

Dissertação (Mestrado em Ensino de Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara. Disponível em:

<https://hdl.handle.net/11449/250865>. Acesso em: 14 nov. 2024.

RIBEIRO, R. C.; MAGALHÃES, A. M. Política de responsabilidade social na universidade: conceitos e desafios. **Educação, Sociedade & Culturas**, n. 42, p. 133-156, 2014. Disponível em:

<https://doi.org/10.34626/esc.vi42.285>. Acesso em: 14 nov. 2024.

RIZZATTI, I. M. *et al.* Os produtos e processos educacionais dos programas de pós-graduação profissionais: proposições de um grupo de colaboradores. **ACTIO: docência em ciências**, v. 5, n. 2, p. 1-17, 2020. Disponível em: <https://revistas.utfpr.edu.br/actio/article/view/12657/7658>. Acesso em: 13 nov. 2024.

SÁ, L. P.; FRANCISCO, C. A.; QUEIROZ, S. L. Estudo de casos em Química. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 731-739, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422007000300039>. Acesso em: 14 nov. 2024.

SÁ, L. P.; QUEIROZ, S. L. **Estudo de Casos no Ensino de Química**. Campinas, SP: Átomo, 2009. 95 p.

SANTOS, E.; SCHMICKLER, W. (Ed.). **Catalysis in electrochemistry: from fundamental aspects to strategies for fuel cell development**. John Wiley & Sons, 2011.

SELBACH, Ágatha Lottermann et al. O método de Estudos de Caso na promoção da argumentação no Ensino Superior de Química: uma revisão bibliográfica. **Química Nova na Escola**, v. 43, n. 1, 2021. Disponível em: http://qnesc.sbq.org.br/online/qnesc43_1/QNESC_43-1_revista_baixa.pdf#page=38. Acesso em: 10 dez. 2024.

SILVA, D. P. S. *et al.* Contaminação de águas superficiais e subterrâneas pelo derramamento de combustíveis e suas possíveis remediações. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 2, p. 8557-8572, Fev. 2022. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/handle/riufc/60174>. Acesso em: 08 nov. 2024.

SPUTNIK BRASIL. Brasileira desenvolve método para produzir etanol a partir de água de petróleo. **Notícia Brasil**, 31 jan. 2020. Disponível em: <https://noticiabrasil.net.br/20200131/brasileira-desenvolve-metodo-para-produzir-etanol-a-partir-de-agua-de-petroleo-15081878.html>. Acesso em: 14 nov. 2024.

TAUCHEN, G. **O princípio da indissociabilidade universitária: um olhar transdisciplinar nas atividades de ensino, de pesquisa e de extensão**. 2009. Tese (Doutorado em Educação) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/2854/1/000418585-Texto%2BCompleto-0.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2024.

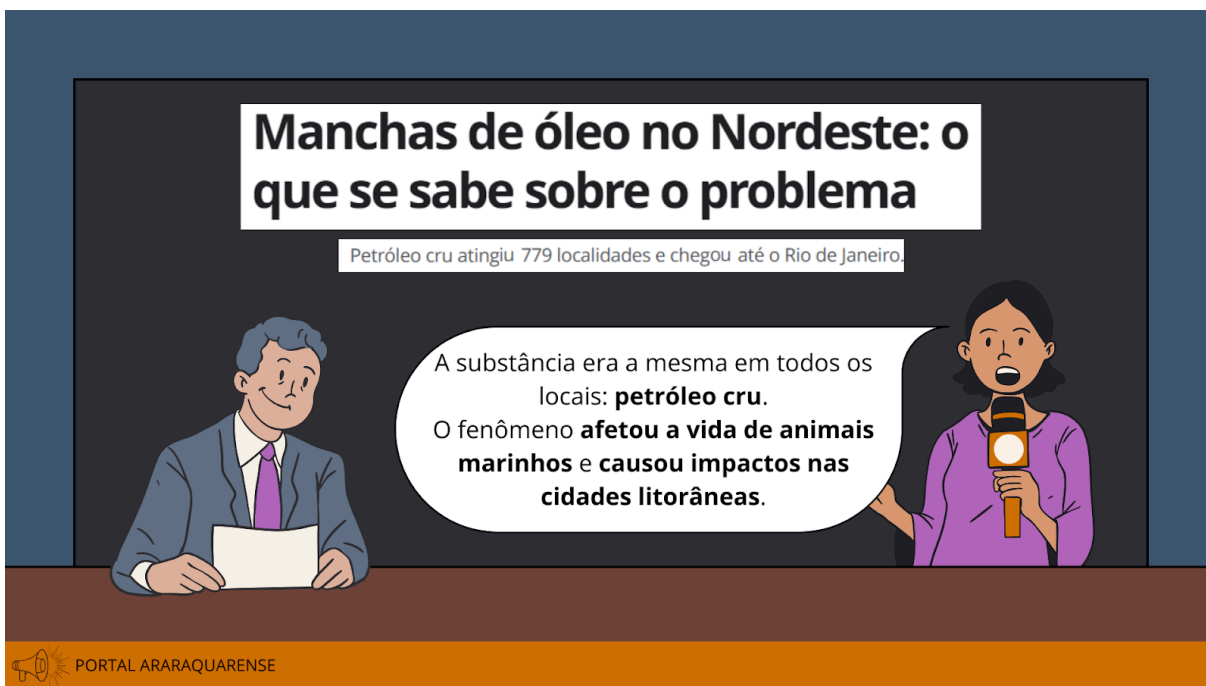
UNESP – Universidade Estadual Júlio de Mesquita Filho. Instituto de Química de Araraquara. **Projeto Político Pedagógico dos Cursos de Bacharelado em Química e Bacharelado em Química Tecnológica**. 2023. Disponível em: https://www.iq.unesp.br/Home/graduacao/bachareladoemquimica/ppp_-bq-bqt-2023-vigente.pdf. Acesso em: 10 nov. 2024.

VERRUMA, O. F. **Metal-organic frameworks contra crimes: vamos combater a falsificação? Proposta de um caso investigativo para ensino de redes metalorgânicas no ensino superior de Química**. 2022. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química) – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/8147a5e4-c9b4-4b6a-a787-01cfb24f5277/content>. Acesso em: 10 nov. 2024.

- YADAV, Aman et al. Teaching science with case studies: A national survey of faculty perceptions of the benefits and challenges of using cases. **Journal of College Science Teaching**, v. 37, n. 1, p. 34, 2007. Disponível em: [Teaching-science-with-case-studies-A-national-survey-of-faculty-perceptions-of-the-benefits-and-challenges-of-using-cases.pdf](#). Acesso em: 10 nov. 2024.
- ZAREI, E.; OJANI, R. Fundamentals and some applications of photoelectrocatalysis and effective factors on its efficiency: a review. **Journal of Solid State Electrochemistry**, v. 21, p. 305-336, 2017. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10008-016-3385-2>. Acesso em: 05 nov. 2024.
- ZHANG, Y. *et al.* Photoelectrocatalytic degradation of recalcitrant organic pollutants using TiO₂ film electrodes: an overview. **Chemosphere**, v. 88, n. 2, p. 145-154, 2012. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653512003347?casa_token=m5ehGxkyVh4AAAAA:GxdeVurtZMqfbhsOBnyasFsU8yK9RnCu0ahe634j4BrqbGQy_8XR1xnKgKXAQ7ubDJLLOZZU. Acesso em: 09 nov. 2024.
- ZHUO, Q. *et al.* Electrocatalytic oxidation processes for treatment of halogenated organic pollutants in aqueous solution: a critical review. **ACS ES&T Engineering**, v. 2, n. 10, p. 1756-1775, 2022. Disponível em: https://pubs.acs.org/doi/full/10.1021/acsestengg.1c00465?casa_token=mfdQLh4cOysAAAAA%3Aa6qEJzcbHmLaPsAgOIEW1QOvwme2mdhjEnqBb-vGCpMwBwLyZOxXjLRn3xQID6JwkcwxafZSeKIOuQ. Acesso em: 09 nov. 2024.
- ZUCCO, C.; PESSINE, F. B. T.; ANDRADE, J. B. de. Diretrizes curriculares para os cursos de química. **Química Nova**, v. 22, p. 454-461, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40421999000300027>. Acesso em: 14 nov. 2024.

APÊNDICE A – Caso investigativo completo

PÉ NA AREIA, ÁGUA DE COCO E PETRÓLEO NO MAR?



Notícia na íntegra: [Manchas de óleo no Nordeste: o que se sabe sobre o problema | Natureza | G1](#)

Anna, uma garota prestes a se formar em química, aumentou a TV, interessada em ouvir melhor sobre a notícia que relembrava o trágico acidente ocorrido no Nordeste há cerca de 5 anos.

A jovem de cabelos cacheados e olhos verdes sempre sonhou em ser cientista e apesar de ter crescido ouvindo que essa era uma profissão para “homens, sejam eles gênios ou loucos”, veio do litoral paulista para cursar química na Unesp de Araraquara. Agora que estava em seu último ano, havia conseguido um estágio há poucos meses na empresa BritoBrás, uma das companhias petrolíferas mais conhecidas no ramo.

Como sempre foi curiosa, Anna foi atrás de sua chefe Juliana para tentar entender o que a empresa estava fazendo para evitar problemas como o da reportagem.

Ao chegar no trabalho no dia seguinte, ela teve uma conversa com sua chefe.

- Bom dia, Ju! Queria conversar com você para entender um pouco mais sobre as medidas que a empresa tem tomado para evitar a contaminação das águas durante a extração do petróleo ou, não sei... como a empresa tem cuidado desse problema, sabe?
- Bom dia, Anna. É muito legal ver o seu interesse pelas políticas da empresa — Calmamente, Juliana explicou para Anna que, na verdade, este é um problema para o qual há uma equipe inteira dedicada para propor soluções — Essa água contaminada não pode ser descartada de qualquer maneira, precisando de um tratamento para que possa ser utilizada novamente pela indústria. Nossa empresa realiza uma filtragem dessa água, eliminando a maior parte das substâncias e realizamos o despejo no mar,

em uma área muito distante, assim fica diluído e fora de contato direto com as pessoas e monitoramos os níveis dessas substâncias para que não passem do limite permitido.

- Entendi, Ju... mas isso não é preocupante? Porque apesar de filtrar essa água, ela ainda continua com substâncias orgânicas que não foram filtradas e que são tóxicas. Despejando no mar, ainda que em menor concentração dessas substâncias, ainda contamina a água do mar também.
- Sim, é uma questão bem complicada, Anna... Mas precisamos avaliar também o que é economicamente viável para a empresa. Os aspectos ambientais são importantes, mas também precisamos considerar o aspecto financeiro da empresa. Mas é interessante notar que junto dessa questão está atrelado um dos maiores problemas da atualidade: o uso de combustíveis fósseis, como o petróleo. Nesse sentido, nossa equipe especializada busca propor como limpar essa água contaminada e como gerar combustíveis mais limpos, como etanol e metanol.

Anna ficou preocupada pois cresceu vendo os impactos ambientais causados nas praias de sua cidade e a família sempre comentava como a praia “não é mais a mesma” com tanta poluição e lixo nas águas. Com cuidado para não se exceder em seus comentários, mas também buscando entender mais sobre o projeto da empresa, a garota conversou com sua chefe até que Juliana decidiu colocar Anna para trabalhar em conjunto dessa equipe para que pudesse entender mais sobre as iniciativas da empresa, trabalhar os conhecimentos adquiridos em sua graduação e contribuir com a sua perspectiva como moradora do litoral.

Na semana seguinte, sentada na sala de reuniões, Anna conheceu o responsável pela equipe, Dr. Moura, e Marina, uma química com experiência em redução de CO₂. A equipe era composta por outras pessoas, mas Moura e Marina eram os seus supervisores e acompanhariam de perto o seu desenvolvimento.

— Bem, Anna, como você sabe, o projeto é ambicioso — disse Dr. Moura, ajeitando os óculos — Estamos enfrentando dois grandes problemas ao mesmo tempo: a água contaminada por poluentes orgânicos da extração de petróleo e o excesso de CO₂.

Marina sorriu, ajeitando o curto cabelo castanho, e complementou:

— Queremos que você explore a possibilidade de usar técnicas eletroanalíticas para oxidar esses poluentes e reduzirmos CO₂ para gerar combustíveis.

Anna começou a anotar em seu caderno, animada com o desafio.

— Então, o primeiro passo seria explorar as técnicas eletroanalíticas que poderiam realizar essa oxidação e redução, né? — Anna perguntou enquanto refletia se existia algum jeito de realizar esses processos de maneira simultânea.

— Exatamente! Esse é o ponto. — Disse Moura, contente em ver o interesse da menina.

— É isso mesmo, Anna! Sua tarefa agora é detalhar como essas técnicas podem ser aplicadas. A gente precisa que você entenda como cada uma delas pode contribuir nesse processo. — Marina informou.

— Mas é importante que você também considere o custo que o uso dessas técnicas vai trazer para a empresa. Quando você tiver entendido tudo sobre isso podemos avançar no projeto, tudo bem? — Dr. Moura elaborou — A Marina vai trabalhar com você para que vocês possam elaborar uma apresentação para nossa equipe e a equipe financeira da empresa. Irei

supervisionar vocês, mas é parte do desenvolvimento de um bom químico que ele consiga avaliar a viabilidade, riscos e consequências do uso de determinados processos químicos.

Anna e Marina se entreolharam e confirmaram, preparadas para assumir essa responsabilidade.

Anna saiu da sala com o coração acelerado, uma mistura de ansiedade e animação. Sabia que essa era a oportunidade de mostrar o que havia aprendido, mas também de aprender muito mais no processo e contribuir diretamente em um problema que afetava toda sua família, e não deixaria essa chance passar.

Agora assuma o papel de Anna! Você é o estagiário da Britobrás, trabalhando nesse importante projeto e precisa realizar essa apresentação com todas as informações solicitadas!

Descreva as principais técnicas eletroanalíticas que poderiam ser utilizadas para realizar os processos, **explicando** como cada uma delas funciona e **elencando** os aparelhos, equipamentos e reagentes necessários para o emprego da técnica.

Pesquise a respeito da hipótese de Anna, destacada no texto, e **explique** se há alguma técnica eletroanalítica que torne essa hipótese possível e como seria o seu funcionamento.

Avalie aspectos positivos e negativos de cada técnica, **julgando** qual seria a melhor a ser empregada. Não se esqueça de **justificar** a sua escolha!

Além disso, você deve se lembrar que é de extrema importância para a empresa que você traga os aspectos econômicos da técnica para sua apresentação, então **analise** de que maneira poderia se reduzir esse custo, levando em consideração os princípios da química verde.

TUDO QUE VAI, VOLTA: FECHANDO O CICLO

Após a aprovação da equipe financeira da empresa, o projeto entrou em sua fase experimental. Baseando-se nas discussões realizadas na apresentação, foram selecionados três métodos eletroanalíticos: a eletrocatalise, fotocatalise e fotoeletrocatalise.

Algumas semanas de intensos experimentos se passaram e Anna, Dr. Moura e Marina se reuniram para revisar os resultados preliminares.

A equipe sabia que, para que a empresa adotasse as novas técnicas, precisavam garantir que elas fossem eficazes e sustentáveis a longo prazo. Para apresentar os resultados para o conselho da Britobrás, a equipe deveria garantir que os dados coletados pudessem ser aplicados para otimizar o processo no futuro, obtendo um ciclo sustentável.

— Então, Marina, como estamos? — perguntou Dr. Moura, olhando os resultados preliminares — Conseguimos oxidar os poluentes e reduzir o CO₂ assim como esperávamos? Marina respirou fundo antes de responder:

— Ainda estamos analisando todos os dados. Estamos obtendo resultados promissores, mas antes de apresentar os resultados completos, precisamos garantir que estamos avaliando a eficiência corretamente.

Dr. Moura, sempre professoral, aproveitou a oportunidade para desafiar o pensamento crítico das jovens cientistas.

— E como vocês estão planejando garantir isso? — perguntou ele, com um olhar encorajador. Anna, que até então estava revisando os dados silenciosamente, se manifestou.

— Estávamos considerando algumas técnicas para medir tanto a oxidação dos poluentes quanto a conversão do CO_2 , mas ainda estamos em dúvida sobre qual seria a mais precisa e acessível.

— Ótimo ponto, Anna. E o que vocês acham que deve ser avaliado especificamente em cada processo? Como podemos saber que tanto a oxidação quanto a redução foram eficientes? —

Dr. Moura perguntou, animado com o raciocínio da estagiária.

Anna e Marina se entreolharam, tentando juntar todas as peças.

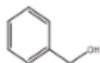
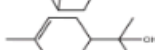
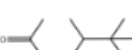
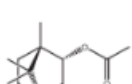
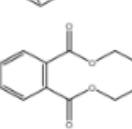
— Poderíamos monitorar a concentração dos produtos ao longo do tempo — Anna respondeu.

— Excelente! Mas temos que ser realistas: não podemos monitorar todos os compostos orgânicos na água contaminada. Vocês devem escolher um deles para acompanhar de perto e precisam justificar essa escolha — Dr. Moura as instruiu.

Anna fez uma anotação rápida e acenou com a cabeça.

— Nós reunimos em uma tabela as substâncias orgânicas encontradas na amostra de água de petróleo antes e depois do tratamento com fotocatalise e fotoeletrocatalise. Podemos analisar os dados e fazer essa escolha para continuarmos com os experimentos — Anna concluiu.

Figura 1 - Compostos identificados por GC-MS e suas respectivas áreas de pico na água residual de petróleo antes e depois de 120 min. de tratamento.

TEMPO DE RETENÇÃO (MIN.)	COMPOSTO	ESTRUTURA	ÁREA ÁGUA RESIDUAIS	ÁREA APÓS FOTOCATÁLISE	ÁREA APÓS FOTOELETROCATÁLISE
7.78	Benzaldehyde		10653.8	5437.1	8701.0
10.19	Eucalyptol		133085.7	N/A	N/A
10.30	Benzyl alcohol		113631.5	48126.6	21666.3
13.89	Bicyclo [2,2,1] heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl		207541.5	N/A	N/A
15.32	Terpineol		15313.5	N/A	N/A
16.42	Cyclohexanone 4-(1,1-dimethylethyl)		1483302.2	N/A	N/A
18.17	Isobornyl Acetate		51842.7	N/A	N/A
26.00	Diethyl phthalate		27604.6	N/A	N/A
30.42	Octadecane		26573.7	2037.0	2170.5
33.60	Hexadecanoic acid		22211.4	2457.8	1065.0
36.93	Oleic acid		8661.4	1250.0	N/A
37.34	Octadecanoic acid		4894.4	N/A	N/A

*N/A – COMPOSTOS QUE NÃO FORAM IDENTIFICADOS APÓS O TRATAMENTO

Condições do tratamento: irradiação de uma lâmpada UV-B de 36 W; fotoanodo de TiO₂Nt sob 2,5 V vs dois cátodos de haste de grafite; e taxa de entrada de ozônio de $3,85 \times 10^{-4}$ mol/min., entregue a uma taxa de fluxo de O₂ de 3,0 L/min.

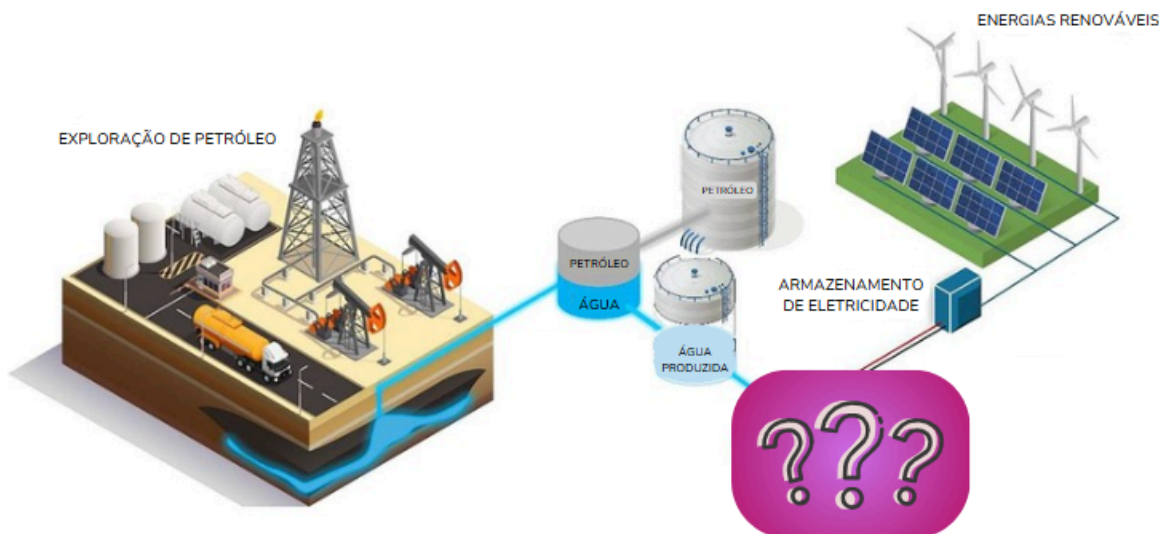
Fonte: Adaptado de Brito *et al.* (p. H3236, 2019).

— Ótimo. Assim que tiverem essas análises finalizadas, me mostrem antes de apresentarmos para o conselho. Precisamos estar preparados. Mais alguma coisa que queiram discutir?

— Bom.. é crucial que a gente também avalie como o processo pode funcionar como um ciclo fechado, nada deve ser desperdiçado — Marina ressaltou — Se conseguirmos demonstrar que todos os subprodutos podem ser reintegrados ao processo ou reutilizados de alguma forma, garantimos que o ciclo seja sustentável.

— Nós fizemos uma representação do funcionamento da empresa, olha. — Anna, orgulhosa do trabalho que fizeram, apresentou a imagem ao Dr. Moura.

Figura 2 - Representação da idealização de uma planta de uma indústria petrolífera que utiliza um ciclo fechado.



Fonte: Adaptado de Araújo *et al.* (2024).

— Bom trabalho, meninas — Dr. Moura levantou-se, sinalizando o fim da reunião — Ao final do processo, acrescentem nessa representação como o processo seria integrado para que o ciclo seja fechado e mais sustentável.

Os dias que se seguiram foram intensos, com a equipe imersa em estudos e análises. A equipe se reunia constantemente para discutir os resultados obtidos e preparar a apresentação para o conselho da empresa. Sabiam que, caso aprovado o projeto, a Britobrás, empresa que já possuía grande destaque por possuir uma mulher como fundadora e em uma posição de liderança, também seria pioneira ao propor um ciclo fechado em seu processo de extração do petróleo, algo que colocaria a empresa à frente no mercado de inovação e sustentabilidade. Além disso, o projeto era ainda mais especial para Anna pois a implementação do projeto seria capaz de melhorar um processo industrial que afetava diretamente sua família e amigos da cidade natal.

Para finalizar esse grande desafio, você deve assumir o papel da equipe e preparar a apresentação para o conselho da Britobrás!

Pesquise e descreva as reações químicas envolvidas nesse processo de oxidação dos poluentes orgânicos e na redução do CO_2 .

Proponha e explique detalhadamente como você analisaria a eficiência do processo, **explicitando** os seus cálculos.

Argunte qual das técnicas selecionadas pelos pesquisadores você utilizaria.

Não se esqueça de seguir a orientação do Dr. Moura sobre a escolha de um composto orgânico para monitoramento, **justificando** sua seleção com base nos dados experimentais obtidos.

Finalize a apresentação **elaborando** uma estratégia para garantir que o processo funcione

como um ciclo fechado, assegurando que todos os subprodutos possam ser reaproveitados no sistema. **Indique** essa estratégia completando a representação do funcionamento da empresa.

Referências

BRITO, J. F. de *et al.* Combination of photoelectrocatalysis and ozonation as a good strategy for organics oxidation and decreased toxicity in oil-produced water. **Journal of The Electrochemical Society**, v. 166, n. 5, p. H3231, 2019.

ARAÚJO, D. M. de *et al.* Produced water electrolysis with simultaneous green H₂ generation: From wastewater to the future of the energetic industry. **Fuel**, v. 373, p. 132369, 2024.

Disponível

em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016236124015175?via%3Dihub>.

ANEXO A – Instrumento para avaliação do Caso Investigativo (CI) proposto por Primo (2023)

Instrumento para avaliação do Caso Investigativo (CI) Avaliação por pares

Leia o CI selecionado e dê seu parecer em relação às perguntas a seguir:

Título do CI	
Grupo parecerista	

Estrutura

Critérios	Não	Parcialmente	Sim
1. A estrutura do CI está adequada? Possui início, meio e fim?			
Comentários e/ou sugestões:			
2. O tamanho do CI é adequado?			
Comentários e/ou sugestões:			

Personagens

Critérios	Não	Parcialmente	Sim
3. A escolha dos personagens foi adequada?			
Comentários e/ou sugestões:			
4. Há a descrição de perfis, personalidades e sentimentos, de forma a dar mais vida e drama à história?			
Comentários e/ou sugestões:			
5. Da forma como está escrito, o CI instiga o leitor a criar empatia com os personagens?			
Comentários e/ou sugestões:			
6. O uso de citações para dar mais voz aos personagens é adequado?			
Comentários e/ou sugestões:			

Contextualização

Crítérios	Não	Parcialmente	Sim
9. A temática geral que o CI pretende abordar está adequada?			
Comentários e/ou sugestões:			
10. A problemática proposta é atual e adequada?			
Comentários e/ou sugestões:			
11. Da forma como está escrito, o CI instiga o interesse pela questão que se propõe discutir?			
Comentários e/ou sugestões:			
12. O conflito proposto pela narrativa está adequado?			
Comentários e/ou sugestões:			
13. A forma como o CI força a tomada de decisão dos leitores é adequada?			
Comentários e/ou sugestões:			

Conceitos e habilidades

Crítérios	Não	Parcialmente	Sim
14. A escolha do(s) conhecimento(s) geral(is) e específico(s) passível(is) de ser(em) abordado(s) apresenta coerência com os objetivos e com o possível público-alvo?			
Comentários e/ou sugestões:			
15. Considerando o contexto que será utilizado, o CI apresenta utilidade pedagógica?			
Comentários e/ou sugestões:			
16. Além dos conhecimentos geral e específicos, é possível observar a possibilidade de desenvolver habilidades e atitudes específicas?			
Comentários e/ou sugestões:			
17. O CI é generalizável?			
Comentários e/ou sugestões:			

Se julgar necessário, escreva algum comentário:

ANEXO B – Plano de Ensino da disciplina Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



PLANO DE ENSINO – DISCIPLINA

UNIDADE UNIVERSITÁRIA: Instituto de Química

CURSO: Bacharelado em Química e Bacharelado em Química Tecnológica

DEPARTAMENTO(S): Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica

IDENTIFICAÇÃO

NOME DA DISCIPLINA: Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica

NOME DA DISCIPLINA (em inglês): Instrumental Analytical Chemistry I: Electroanalytical

CÓDIGO: DAFQI1827

SERIAÇÃO IDEAL: 2º ano - 2º semestre

☒ OBRIGATORIA

☐ OPTATIVA

PRÉ-REQUISITO(S): Química Analítica Experimental II

CO-REQUISITO(S): Química Analítica Instrumental Experimental I

☐ ANUAL

☒ SEMESTRAL

CRÉDITOS:
1 crédito = 15 h/a
1 h/a = 60 minutos

CARGA HORÁRIA
TOTAL EM
CRÉDITOS: 02

CARGA HORÁRIA EM CRÉDITOS
TEÓRICA: 02

PRÁTICA: -

ACEU (se aplicável): -

NÚMERO MÁXIMO DE ALUNOS POR TURMA

AULAS TEÓRICAS
50

AULAS PRÁTICAS
-

ACEU (se aplicável)
-

EMENTA (tópicos que caracterizam as unidades dos programas de ensino e os conteúdos temáticos a serem trabalhados indicando o foco teórico da abordagem a ela correspondente)

Métodos Potenciométricos, Métodos Condutométricos, Métodos Eletrogravimétricos, Métodos Coulométricos, Métodos Voltamétricos, Métodos Amperométricos, Métodos Hidrodinâmicos, Métodos de Pré-Concentração.

OBJETIVOS (ao término da disciplina, o aluno deverá ser capaz de)

Proporcionar conhecimentos sobre as técnicas instrumentais de Eletroanalítica de uso mais amplo e de maior potencialidade, com ênfase na metodologia analítica e tendo em vista, principalmente, o seu emprego na solução de problemas químicos.

CONTEÚDO PROGRAMÁTICO (título e discriminação das unidades programáticas)

1. Introdução aos Métodos Electroanalíticos

- 1.1 Fundamentos
- 1.2 Células eletroquímicas
- 1.3 Potenciais de células
- 1.4 Correntes em células
- 1.5 Métodos eletroanalíticos

2. Métodos Potenciométricos

- 2.1 Fundamentos
- 2.2 Eletrodos indicadores
- 2.3 Instrumentos
- 2.4 Potenciometria direta
- 2.5 Titulações potenciométricas

3. Métodos Condutométricos

- 3.1 Fundamentos
- 3.2 Células de condutometria
- 3.3 Instrumentos
- 3.4 Condutometria direta
- 3.5 Titulações condutométricas

4. Métodos Eletrogravimétricos

- 4.1 Fundamentos
- 4.2 Células e eletrodos
- 4.3 Instrumentos
- 4.4 Eletrogravimetria a potencial controlado
- 4.5 Eletrogravimetria a corrente controlada

5. Métodos Coulométricos

- 5.1 Fundamentos
- 5.2 Células e eletrodos
- 5.3 Instrumentos
- 5.4 Coulometria a potencial controlado
- 5.5 Coulometria a corrente controlada

6. Métodos Voltamétricos

- 6.1 Fundamentos
- 6.2 Eletrodo gotejante de mercúrio
- 6.3 Instrumentos
- 6.4 Polarografia
- 6.5 Voltametria

7. Métodos Amperométricos

- 7.1 Fundamentos
- 7.2 Células e eletrodos
- 7.3 Instrumentos
- 7.4 Titulações amperométricas

7.5 Titulações biamperométricas 8. Métodos Hidrodinâmicos 8.1 Fundamentos 8.2 Células e eletrodos 8.3 Instrumentos 8.4 Eletrodos rotatórios 8.5 Eletrodos em fluxo 9. Métodos de Pré-Concentração 9.1 Fundamentos 9.2 Células e eletrodos 9.3 Instrumentos 9.4 Pré-concentração 9.5 Redissolução Observação: Serão efetuados experimentos de laboratório referentes às técnicas acima relacionadas.

METODOLOGIA DO ENSINO Período: Semestre letivo Aulas expositivas, exercícios. Regime de Recuperação: Ao longo do semestre serão desenvolvidas atividades voltadas aos alunos com insuficiências no aprendizado (lista de exercícios complementares, horário de atendimento aos alunos, entre outras atividades a serem definidas pelo docente responsável).

AÇÕES EXTENSIONISTAS (conforme Resolução Unesp nº 75/2020) -

BIBLIOGRAFIA BÁSICA (apresentar a bibliográfica preferencialmente conforme Norma ABNT 6023/2018) 1. Cienfuegos, F.; Vaitsman, D., "Análise Instrumental", Interciência, Rio de Janeiro, 2001. 2. Willard, H. H., Merritt, L.L. e Dean, J.A. "Análise Instrumental", Fundação Calouste Gulberkian, 2ª edição, Lisboa, 1979. 3. Ewing, G. W. "Métodos Instrumentais de Análise Química", editora Edgard Blucher Ltda. – Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972, vol. I e II. 4. Ohlweiler, O. A. Fundamentos de Análise Instrumental, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1981. 5. Skoog, D. A.; Hollen, F. J. and Nieman, T. A. "Princípios de Análise Instrumental", Saunders College Publishing, Tradução: Celio Pasquini, 6ª ed. Bookman 2009. 1056p. 6. Sawyer, D. T.; Heineman, W. R. and Beebe, J. M. "Chemistry Experiments for Instrumental Methods", John Wiley, New York, 1984. 7. Riley, T.; Tomlinson, C. "Principles of Electroanalytical Methods", John Wiley, Chichester, 1987
--

BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR (apresentar a bibliográfica preferencialmente conforme Norma ABNT 6023/2018) 1. Meloan, E. e Kiser, R. W. "Problemas y Experimentos en Analysis Instrumental",
--

- Reverté, México, 1973.
2. Riley, T.; Watson, J. "Polarography and other Voltametric Methods", John Wiley, Chichester, 1987.
 3. Evans, A. "Potenciometry and Ion Selective Electrodes", John Wiley, Chichester, 1991.
 4. Fatibello-Filho, O.; Silva, T.A.; Moraes, F.C.; Janegitz, B.C. "Potenciometria: Aspectos teóricos e práticos", EduFSar, São Carlos, 2019.

CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DA APRENDIZAGEM

Resolução Unesp nº 106/2012, alterada pelas Resoluções nº 23/2013 e 75/2016 (notadamente quanto à recuperação)

Avaliação Semestre letivo:

Duas ou três provas teóricas no semestre, sendo que o aluno deverá obter média 5,0 nas provas aplicadas que abrangem a totalidade do conteúdo da disciplina.

Regime de Recuperação:

Ao longo do semestre serão desenvolvidas atividades voltadas aos alunos com insuficiências no aprendizado (lista de exercícios complementares, horário de atendimento aos alunos, entre outras atividades a serem definidas pelo docente responsável).

Exame Final:

Ao aluno com frequência mínima de 70%, reprovado por não atingir a nota 5,0, será concedida a oportunidade de um único Exame Final (EF). A Média Final será dada pela média aritmética simples entre a média do período regular (MP) e a nota do exame final (EF).

Média Final = (MP + EF) / 2

ASSINATURA(S) DO(S) RESPONSÁVEL(IS)

Profa. Dra. Maria Del Pilar Taboada Sotomayor

APROVAÇÕES

DEPARTAMENTO(S)	CONSELHO DE CURSO DE GRADUAÇÃO	CONGREGAÇÃO / CONSELHO DIRETOR
Aprovado ad referendum em 19/01/2022.	07/02/2022	Delegação de competência ao Conselho de Curso de Graduação, conforme Portaria nº 022/2006 D-IQ/CAr., de 05/06/2006.
_____ Carimbo e assinatura do(a) Chefe de Departamento	_____ Carimbo e assinatura do(a) Coordenador(a) de Curso	_____ Carimbo e assinatura do(a) Presidente da Congregação/Conselho Diretor

ANEXO C – Plano de Ensino da disciplina Química Analítica Instrumental Experimental I



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"



PLANO DE ENSINO – DISCIPLINA

UNIDADE UNIVERSITÁRIA: Instituto de Química

CURSO: Bacharelado em Química e Bacharelado em Química Tecnológica

DEPARTAMENTO(S): Química Analítica, Físico-Química e Inorgânica

IDENTIFICAÇÃO

NOME DA DISCIPLINA: Química Analítica Instrumental Experimental I

NOME DA DISCIPLINA (em inglês): Experimental Instrumental Analytical Chemistry I

CÓDIGO: DAFQI1828

SERIAÇÃO IDEAL: 2º ano - 2º semestre

☒ OBRIGATÓRIA

☐ OPTATIVA

PRÉ-REQUISITO(S): Química Analítica Experimental II

CO-REQUISITO(S): Química Analítica Instrumental I: Eletroanalítica

☐ ANUAL

☒ SEMESTRAL

CRÉDITOS:
1 crédito = 15 h/a
1 h/a = 60 minutos

CARGA HORÁRIA
TOTAL EM
CRÉDITOS: 03

CARGA HORÁRIA EM CRÉDITOS
TEÓRICA: -
PRÁTICA: 03
ACEU (se aplicável): -

NÚMERO MÁXIMO DE ALUNOS POR TURMA

AULAS TEÓRICAS

-

AULAS PRÁTICAS

30

ACEU (se aplicável)

-

EMENTA (tópicos que caracterizam as unidades dos programas de ensino e os conteúdos temáticos a serem trabalhados indicando o foco teórico da abordagem a ela correspondente)

Métodos Potenciométricos, Métodos Condutométricos, Métodos Eletrogravimétricos, Métodos Coulométricos, Métodos Voltamétricos, Métodos Amperométricos, Métodos de Pré-Concentração.

OBJETIVOS (ao término da disciplina, o aluno deverá ser capaz de)
Proporcionar conhecimentos sobre as técnicas instrumentais de Eletroanalítica de uso mais amplo e de maior potencialidade, com ênfase na metodologia analítica e tendo em vista, principalmente, o seu emprego na solução de problemas químicos.
CONTEÚDO PROGRAMÁTICO (título e discriminação das unidades programáticas)
1. Potenciometria direta 2. Titulação potenciométrica 3. Condutometria direta 4. Titulação condutométrica 5. Eletrogravimetria a corrente controlada 6. Coulometria a potencial controlado 7. Titulação coulométrica 8. Polarografia de corrente direta e pulso diferencial 9. Titulação amperométrica 10. Voltametria de varredura linear, pulso diferencial e onda quadrada 11. Voltametria de redissolução
METODOLOGIA DO ENSINO
Período: Semestre letivo Experimentos de laboratório e seminário. Regime de Recuperação: Ao longo do semestre serão desenvolvidas atividades voltadas aos alunos com insuficiências no aprendizado (lista de exercícios complementares às aulas de laboratório, horário de atendimento aos alunos, entre outras atividades a serem definidas pelo docente responsável).
AÇÕES EXTENSIONISTAS (conforme Resolução Unesp nº 75/2020)
-
BIBLIOGRAFIA BÁSICA (apresentar a bibliográfica preferencialmente conforme Norma ABNT 6023/2018)
01. Cienfuegos, F.; Vaitsman, D., "Análise Instrumental", Interciência, Rio de Janeiro, 2001. 02. Willard, H. H., Merritt, L.L. e Dean, J.A. "Análise Instrumental", Fundação Calouste Gulberkian, 2ª edição, Lisboa, 1979. 03. Ewing, G. W. "Métodos Instrumentais de Análise Química", editora Edgard Blucher Ltda. – Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1972, vol. I e II. 04. Ohlweiler, O. A. Fundamentos de Análise Instrumental, Livros Técnicos e Científicos Editora, Rio de Janeiro, 1981. 05. Skoog, D. A.; Hollen, F. J. and Nieman, T. A. "Principles of Instrumental Analysis", Saunders College Publishing, 5ª ed., Fort Worth, 1998. 06. Sawyer, D. T.; Heineman, W. R. and Beebe, J. M. "Chemistry Experiments for Instrumental Methods", John Wiley, New York, 1984. 07. Riley, T.; Tomlinson, C. "Principles of Electroanalytical Methods", John Wiley, Chichester, 1987

