



**INSTITUTO FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS MACEIÓ
CURSO SUPERIOR EM LICENCIATURA EM QUÍMICA**

JACKSILANE LAURENTINO DA SILVA ANDRADE

RENATO NICOLAU LIMA ANDRADE

**DETERMINAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE ÓLEOS E GRAXAS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS: UMA ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA PARA O ENSINO DE
QUÍMICA AMBIENTAL**

MACEIÓ - AL

2025

JACKSILANE LAURENTINO DA SILVA ANDRADE

RENATO NICOLAU LIMA ANDRADE

DETERMINAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE ÓLEOS E GRAXAS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS: UMA ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA PARA O ENSINO DE
QUÍMICA AMBIENTAL

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de licenciatura em química, do Instituto Federal de Educação de Alagoas, *Campus* de Maceió, como requisito parcial à obtenção de grau de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Alan Jonh Duarte de Feitas

MACEIÓ - AL
2025



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal de Alagoas
Campus Maceió
Biblioteca Benevides Monte

577.14
A553d

Andrade, Jacksilane Laurentino da Silva.

Determinação gravemétrica de óleos e graxas em águas superficiais [recurso eletrônico] : uma abordagem contextualizada para o ensino de química ambiental / Jacksilane Laurentino da Silva Andrade, Renato Nicolau Lima Andrade. – Dados eletrônicos (1 arquivo : 805 KB). – 2025.

Sistema requerido: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: Internet.

Orientação: Prof. Dr. Alan Jonh Duarte de Feitas.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química)
– Instituto Federal de Alagoas, *Campus Maceió*, Maceió, 2025.

1. Química. 2. Química – Ensino. 3. Química ambiental. 4. Química – Experimentos didáticos. 5. Sustentabilidade. 6. Óleos e graxas. I. Título.

Franciane Monick Gomes de França
Bibliotecária – CRB 4/1831

JACKSILANE LAURENTINO DA SILVA ANDRADE

RENATO NICOLAU LIMA ANDRADE

DETERMINAÇÃO GRAVIMÉTRICA DE ÓLEOS E GRAXAS EM ÁGUAS
SUPERFICIAIS: UMA ABORDAGEM CONTEXTUALIZADA PARA O ENSINO DE
QUÍMICA AMBIENTAL

Monografia apresentada ao curso de Licenciatura em
Química, do Instituto Federal de Educação de
Alagoas- *Campus* de Maceió, como requisito parcial
para obtenção do título de Licenciado em Química.

Aprovado em: 09/07/2025

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr. Alan John Duarte de Freitas (Orientador)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Prof^o. Dr. Antônio Albuquerque de Souza(examinador)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

Prof^o. Dr. Eduardo Lima Santos (examinador)
Instituto Federal de Alagoas - IFAL

AGRADECIMENTOS

Com sincera gratidão, registramos aqui o reconhecimento a todos que, de alguma forma, contribuíram para a concretização deste trabalho.

Agradecemos, primeiramente, à Dra. Jackeline Laurentino pelo apoio generoso e pela colaboração decisiva na construção deste Trabalho de Conclusão de Curso. Sua disponibilidade, incentivo e orientação foram fundamentais ao longo de toda a jornada. Manifestamos profunda gratidão aos nossos pais, pelo amor incondicional e pela dedicação incansável ao cuidado de nossa filha Raíra Gabriele. Sua presença nos bastidores permitiu que nos dedicássemos com serenidade aos estudos e à execução deste projeto. À nossa filha Raíra Gabriele, cuja existência representa nossa maior inspiração, agradecemos por nos ensinar, todos os dias, o verdadeiro significado de persistência, coragem e amor.

Ao professor Eduardo Venancio, nosso agradecimento especial pelo apoio total na escrita deste TCC. Sua confiança, incentivo e atenção cuidadosa contribuíram imensamente para a qualidade e a realização deste trabalho. Ao professor Alan John, nosso orientador, expressamos especial reconhecimento pelas sugestões que nortearam a definição do tema e pela disponibilidade ao longo do percurso. Seu compromisso com a formação acadêmica foram essenciais para o êxito desta pesquisa.

À equipe da Central Analítica, em especial ao Eng^o Mário Flávio, agradecemos pela cessão do espaço laboratorial e pelos materiais indispensáveis à realização dos experimentos. Sem essa estrutura, este estudo não teria sido possível.

Aos professores e colegas que, com saberes, críticas construtivas e incentivo, enriqueceram nossa formação, estendemos nosso apreço e reconhecimento.

E, finalmente, um ao outro: pelo companheirismo, pela paciência mútua e pelo empenho conjunto. Este trabalho é resultado de uma parceria que transcende os limites acadêmicos e se sustenta no afeto, no diálogo e na construção compartilhada de sonhos.

A todos que fizeram parte desta caminhada, nosso mais sincero agradecimento. Esta conquista também é de vocês.

RESUMO

Este trabalho trata da adaptação didática de métodos analíticos da Química Ambiental para o contexto da educação básica, tendo como tema central a determinação de óleos e graxas (OGs) em águas superficiais. A pesquisa buscou responder à seguinte questão: é possível adaptar o método 5520B da APHA para fins educacionais, garantindo sua aplicabilidade em laboratórios escolares, com segurança, viabilidade técnica e potencial pedagógico? O objetivo geral foi propor um protocolo experimental simplificado, adaptado do método 5520B, para a determinação gravimétrica de OGs, com aplicação em ambiente escolar e contextualização de temas ambientais no ensino de Química. A pesquisa foi aplicada, exploratória e quantitativa. A metodologia envolveu a coleta e análise de amostras reais (águas superficiais e efluentes), bem como o uso de amostras controle com óleo vegetal e lubrificante. Os testes revelaram boa sensibilidade do método em matrizes simples, com margens de erro entre 13% e 30%, e maior dificuldade de recuperação em matrizes complexas, com erros acima de 40%. A aplicação pedagógica foi realizada com 35 estudantes do ensino médio da Escola Estadual Theonilo Gama (AL), por meio de atividades experimentais e questionário avaliativo. Os resultados indicaram que 78% dos participantes perceberam a integração entre teoria e prática como positiva para o processo de aprendizagem. O protocolo mostrou-se compatível com abordagens pedagógicas investigativas e com os princípios da Química Verde, permitindo a exploração de temas como poluição hídrica, legislação ambiental e responsabilidade socioambiental. Conclui-se que a proposta representa uma ferramenta didática viável, acessível e significativa para o ensino de Química contextualizado com os desafios ambientais contemporâneos.

Palavras-chave: química ambiental; ensino de química; óleos e graxas; experimentos didáticos; sustentabilidade.

ABSTRACT

This study addresses the educational adaptation of analytical methods from Environmental Chemistry for high school settings, focusing on the determination of oils and greases (OGs) in surface water. The central research question was: is it possible to adapt the APHA 5520B method for educational purposes while ensuring its applicability in school laboratories with technical feasibility, safety, and pedagogical value? The main objective was to propose a simplified experimental protocol based on method 5520B for gravimetric determination of OGs, integrating it into environmental themes within Chemistry education. This applied, exploratory, and quali-quantitative research involved the collection and analysis of real samples (surface water and industrial effluents), as well as control samples prepared with vegetable and lubricating oils. The method demonstrated good sensitivity in simple matrices, with error margins ranging from 13% to 30%, and greater variability in complex matrices, where errors exceeded 40%. The pedagogical application involved 35 high school students from Theonilo Gama State School (Alagoas, Brazil), who participated in experimental activities and responded to an evaluative Likert-type questionnaire. Results showed that 78% of the students recognized the positive impact of combining theory and practice on their learning process. The adapted protocol proved compatible with inquiry-based approaches and the principles of Green Chemistry, enabling the exploration of topics such as water pollution, environmental legislation, and socio-environmental responsibility. It is concluded that the proposed method is a feasible, accessible, and meaningful didactic tool for teaching Chemistry in a contextualized manner, addressing contemporary environmental challenges.

Keywords: environmental chemistry; chemistry teaching; oils and greases; educational experiments; sustainability.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Concentração de OGs em amostras de águas superficiais.....	27
Tabela 2 – Concentração de OGs em amostras de efluentes industriais.....	28
Tabela 3 – Margem de erro nas análises de amostra controle.....	29
Tabela 4 – Eixos Interdisciplinares de Aplicação do Método.....	36

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Variação da margem de erro no processo do óleo de soja em gráfico.....	30
Gráfico 2 – Variação da margem de erro no processo do óleo lubrificante em gráfico	31
Gráfico 3 – Percepção dos estudantes sobre a efetividade da integração entre teoria e prática	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aula Prática sobre parâmetros de qualidade da água.....	32
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	APRESENTAÇÃO DO MÉTODO 5520B	18
2.1	Adaptação do método 5520 B	18
2.2	Determinação gravimétrica de óleos e Graxas (OGs) em águas superficiais	20
2.3	Eficiência de extração de óleos e graxas.....	21
2.4	Impacto do tempo de agitação	21
3	POTENCIALIDADE PEDAGÓGICA DO PROTOCOLO ...	23
3.1	Integração entre experimentação científica, formação a nível médio e ensino por investigação.....	23
3.2	Educação ambiental, Química verde e construção da consciência socioambiental no ensino médio.....	24
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1	Análise das amostras de águas superficiais	26
4.2	Análise de efluentes industriais	27
4.3	Avaliação da margem de erro com amostra controle	29
4.4	A aplicação didática	32
4.4.1	Percepção dos estudantes	34
4.4.2	Potencial interdisciplinar.....	36
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	38
	REFERÊNCIAS	40
	ANEXOS	44

1 INTRODUÇÃO

Renato Nicolau e Jacksilane Laurentino são estudantes do curso de Licenciatura em Química e atuam em um laboratório de análises ambientais, com ênfase na caracterização de águas superficiais e efluentes. A vivência prática nesse ambiente técnico despertou o interesse dos licenciandos em articular os conhecimentos adquiridos ao longo da formação acadêmica com os desafios enfrentados no cotidiano profissional, especialmente no que tange à poluição hídrica e à experimentação no ensino de Química.

A presença de óleos e graxas (OGs) em corpos d'água constitui um relevante indicador de contaminação orgânica. Substâncias provenientes de atividades industriais, domésticas ou de escoamento urbano podem comprometer severamente a qualidade da água, afetando ecossistemas aquáticos e exigindo ações de monitoramento ambiental. No entanto, apesar da importância do tema, sua abordagem experimental em contextos didáticos ainda é incipiente, sobretudo pela falta de protocolos acessíveis, seguros e compatíveis com a infraestrutura de laboratórios escolares.

Considerando esse cenário, o presente trabalho se propõe a responder à seguinte questão norteadora: de que modo a aplicação do protocolo adaptado pode contribuir para o ensino de Química ambiental, integrando a experimentação científica com a contextualização de problemas ambientais? Essa pergunta orienta a pesquisa, cuja finalidade está atrelada tanto à validação de um método analítico simplificado quanto à sua aplicabilidade pedagógica.

Dessa forma, o objetivo geral deste estudo é propor um protocolo experimental adaptado do método 5520B para a determinação gravimétrica de óleos e graxas em águas superficiais, com aplicação em laboratório didático e abordagem contextualizada de temas ambientais no ensino de Química. Para alcançar essa finalidade, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Adaptar o método 5520B para um protocolo experimental simplificado, seguro e viável para aplicação em laboratórios didáticos de instituições de ensino;
- Aplicar o protocolo adaptado na determinação gravimétrica de óleos e graxas em amostras de águas superficiais coletadas previamente;

- Discutir a potencialidade pedagógica do protocolo, relacionando sua aplicação prática com a contextualização de temas ambientais no ensino de Química.

A inserção da temática ambiental no ensino de Química tem se consolidado como uma estratégia essencial para aproximar os conteúdos científicos das problemáticas socioambientais contemporâneas. Nesse sentido, diversas pesquisas internacionais e nacionais apontam para a eficácia de abordagens didáticas que articulam a experimentação com a educação ambiental e a formação cidadã dos estudantes (Jansson et al., 2015; Aoki; Rastede; Gupta, 2021).

Koulougliotis, Paschalidou e Salta (2024) demonstram que a adoção de práticas pedagógicas inspiradas nos princípios da Química Verde amplia o engajamento dos estudantes do ensino médio em temas ambientais, além de favorecer a aprendizagem ativa e contextualizada. Essa perspectiva dialoga com o presente trabalho, ao propor a adaptação de um método analítico para o ensino, visando não apenas a competência técnica, mas também o desenvolvimento de valores ambientais.

Estudos como os de Mandler et al. (2012) e Ji e Wu (2024) evidenciam que a experimentação científica com foco em sustentabilidade permite que os estudantes compreendam os impactos ambientais das práticas laboratoriais tradicionais, ao mesmo tempo em que propicia a reflexão crítica sobre suas escolhas e comportamentos cotidianos. Tais contribuições fundamentam a proposta de simplificação do método 5520B, de modo a torná-lo compatível com uma abordagem formativa e ambientalmente responsável.

No contexto nacional, de Oliveira Aprígio et al. (2024) analisaram artigos publicados na revista *Química Nova na Escola* e identificaram que, embora a Educação Ambiental esteja presente nas propostas de ensino de Química, ainda é necessário ampliar a adoção de práticas contextualizadas e integradas ao cotidiano dos estudantes. A adaptação de protocolos analíticos tradicionais para fins didáticos e ambientais, como propõe este TCC, representa uma estratégia para preencher essa lacuna.

Por fim, a implementação da aprendizagem baseada em problemas no ensino de Química ambiental, conforme relatado por Jansson et al. (2015), contribui para a formação de estudantes mais autônomos e críticos, capazes de relacionar os conhecimentos químicos com os desafios socioambientais. A presente proposta de adaptação experimental do método

5520B busca seguir essa linha, utilizando a determinação de OGs em águas superficiais como eixo temático para o desenvolvimento de competências científicas, técnicas e educativas.

A preservação da qualidade das águas superficiais constitui um desafio ambiental relevante no Brasil, especialmente diante do crescimento das atividades urbanas, industriais e agropecuárias que resultam em despejos contendo substâncias oleosas. Óleos e graxas (OGs) representam um dos principais contaminantes presentes em efluentes líquidos, com impactos significativos sobre os ecossistemas aquáticos e sobre a operação de sistemas de tratamento de água e esgoto (ANA, 2022; CONAMA, 2005; Garcez, 2004).

Essas substâncias formam filmes na superfície da água, impedindo a troca gasosa com a atmosfera, dificultando a penetração de luz solar e comprometendo processos ecológicos essenciais. Adicionalmente, o acúmulo de OGs em redes coletoras pode causar obstruções, interferências nos processos biológicos de tratamento e aumento da demanda química de oxigênio (DQO), comprometendo a eficiência das estações de tratamento (Juliato, 2006; Garcez, 2004).

A origem desses compostos é variada e inclui atividades domésticas (como lavagem de utensílios e preparo de alimentos), industriais (como oficinas mecânicas, laticínios e postos de combustíveis), bem como o escoamento superficial urbano. A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece limites de concentração para OGs em águas superficiais, fixando valores máximos de 20 mg/L para óleos minerais e recomendando sua ausência nas classes mais elevadas de qualidade. Já a Resolução CONAMA nº 430/2011 regula o lançamento de efluentes contendo OGs, limitando a concentração a 100 mg/L para efluentes domésticos e industriais (Juliato, 2006; CONAMA, 2005; CONAMA, 2011).

Diante da relevância ambiental e normativa, a determinação de OGs em águas torna-se uma competência essencial no campo da Química Ambiental. No entanto, os métodos analíticos comumente utilizados, como a extração por solventes descrita no método padrão 5520B, envolvem etapas laboratoriais complexas e o uso de substâncias potencialmente tóxicas, exigindo adaptação quando se deseja aplicá-los em ambientes educacionais (APHA et al., 2017; Garcez, 2004).

Nesse contexto, o presente trabalho propõe a adaptação didática do método 5520B para a determinação de óleos e graxas em águas superficiais, com foco na formação inicial de professores de Química. A proposta visa não apenas introduzir os alunos à prática laboratorial

e aos métodos analíticos empregados em laboratórios ambientais, mas também contextualizar o conteúdo curricular por meio de problemáticas reais, promovendo uma aprendizagem significativa (Silva et al., 2015; Silva et al., 2025; Souza, 2008).

A inserção da temática ambiental no ensino de Química tem sido considerada uma estratégia eficaz para aproximar os conteúdos científicos das questões contemporâneas e promover o letramento científico. Koulougliotis, Paschalidou e Salta (2024) demonstram que práticas pedagógicas inspiradas na Química Verde ampliam o engajamento discente, especialmente quando associadas à experimentação contextualizada. Essa abordagem está em consonância com os objetivos deste trabalho, ao propor um protocolo que possa ser aplicado em contextos didáticos, abordando um problema ambiental real.

Mandler et al. (2012) e Ji e Wu (2024) enfatizam que currículos orientados para a sustentabilidade e experiências laboratoriais voltadas à conscientização ecológica potencializam a formação de estudantes críticos, capazes de compreender as implicações ambientais dos processos químicos. Tais perspectivas justificam a adaptação metodológica proposta, visando compatibilizar a prática experimental com princípios de segurança, acessibilidade e relevância pedagógica.

Além disso, a análise realizada por de Oliveira Aprígio et al. (2024), a partir de publicações da revista *Química Nova na Escola*, aponta que, embora haja iniciativas voltadas à educação ambiental no ensino de Química, elas ainda carecem de maior articulação entre teoria, prática e vivência experimental. Assim, a proposta deste trabalho busca preencher essa lacuna, por meio de um protocolo viável e alinhado às diretrizes educacionais vigentes.

A implementação da Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), como apresentada por Jansson et al. (2015), corrobora a importância de estratégias que favoreçam a autonomia e a reflexão crítica no ensino de Química Ambiental. O desenvolvimento de uma metodologia analítica adaptada à realidade dos laboratórios escolares, associada à abordagem de problemas reais, fortalece a formação docente e o compromisso com uma educação voltada à sustentabilidade.

Assim, esta investigação tem como objetivos principais: adaptar e validar uma metodologia de extração e quantificação de OGs viável para laboratórios didáticos, explorar sua aplicabilidade no ensino de Química e discutir os resultados obtidos sob as perspectivas científica, ambiental e pedagógica. Acredita-se que a integração entre teoria e prática, por

meio da experimentação, contribua para a formação de professores mais críticos, reflexivos e preparados para abordar temas socioambientais em sala de aula (Silva et al., 2025; Souza, 2008).

A pesquisa aqui desenvolvida pode ser caracterizada, segundo a classificação proposta por Marconi e Lakatos (2017), como uma pesquisa aplicada, pois visa à proposição e validação de uma solução prática voltada à realidade educacional: a adaptação de um método analítico de uso ambiental para fins didáticos. Trata-se também de uma pesquisa exploratória, uma vez que busca levantar dados e compreender as condições e implicações da implementação de tal protocolo em ambiente escolar.

Quanto à abordagem metodológica, a pesquisa adota uma perspectiva quantitativa e qualitativa. De um lado, envolve a análise quantitativa de parâmetros experimentais — como o rendimento gravimétrico obtido com diferentes solventes (éter de petróleo e hexano) e tempos de agitação (3, 5 e 7 minutos). De outro, envolve a interpretação qualitativa das respostas dos estudantes participantes quanto à clareza, aplicabilidade e relevância do protocolo experimental proposto, compondo um quadro avaliativo sobre a viabilidade didático-metodológica da proposta. Como afirmam Marconi e Lakatos (2017, p. 265), a abordagem qualitativa permite “explorar aspectos mais subjetivos da realidade investigada, especialmente quando envolvem práticas educativas ou sociais”.

O objeto de estudo da pesquisa é o protocolo experimental adaptado do método 5520B para a determinação gravimétrica de óleos e graxas (OGs), proposto para uso em laboratórios escolares de ensino médio e superior, com ênfase na formação docente e na contextualização de problemas ambientais. A pesquisa foi aplicada junto a uma população composta por 20 alunos do ensino médio da Escola Estadual Theonilo Gama, situada no estado de Alagoas, que participaram da atividade experimental em ambiente supervisionado.

As principais fontes de dados teóricos e normativos que sustentam a construção da metodologia incluem: a Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011, que estabelece limites para o lançamento de efluentes contendo OGs; o Relatório de Qualidade das Águas Superficiais Brasileiras, publicado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022); e o manual técnico *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23ª edição (APHA; AWWA; WEF, 2017), onde se encontra descrito o método 5520B de extração por solvente e quantificação gravimétrica de OGs.

Como técnica de coleta de dados, foi utilizado um formulário estruturado composto por 10 questões fechadas, aplicado aos estudantes após a realização do experimento. Importa destacar que o objetivo desse instrumento não foi avaliar o aprendizado dos discentes, mas sim obter dados que auxiliassem na validação da metodologia proposta no objetivo geral da pesquisa. As perguntas visaram aferir a clareza do protocolo, a percepção sobre a segurança e a execução das etapas, bem como a viabilidade do experimento em um contexto educacional. Os resultados obtidos subsidiaram a análise crítica da proposta, possibilitando ajustes e reflexões pedagógicas sobre sua aplicação futura na formação de professores de Química.

Com base nos objetivos específicos delineados, a estrutura deste trabalho foi organizada de forma a permitir a execução sequencial e articulada das etapas investigativas. Inicialmente, procedeu-se à adaptação do método 5520B, com o desenvolvimento de um protocolo experimental simplificado, seguro e adequado à infraestrutura de laboratórios didáticos.

Em seguida, o protocolo foi aplicado na determinação gravimétrica de óleos e graxas (OGs) em amostras reais de águas superficiais, coletadas previamente. Na etapa seguinte, realizou-se uma comparação entre dois solventes orgânicos, éter de petróleo e hexano, a fim de avaliar a eficiência de extração de OGs em condições controladas. Posteriormente, foram testadas três diferentes durações de agitação mecânica (3, 5 e 7 minutos), com o objetivo de analisar o impacto dessa variável na eficácia do processo gravimétrico.

Por fim, os resultados obtidos foram discutidos à luz de uma abordagem pedagógica, com vistas a avaliar a aplicabilidade didática do experimento e sua contribuição para a contextualização de temas ambientais no ensino de Química, especialmente na formação inicial de professores.

2. APRESENTAÇÃO DO MÉTODO 5520B

O método 5520B, descrito no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2017), consiste em uma técnica gravimétrica para determinação de óleos e graxas (OGs) em amostras de água, por meio de extração líquido-líquido utilizando solventes orgânicos não polares, como o n-hexano. Esse procedimento segue os princípios da gravimetria por evaporação, exigindo infraestrutura laboratorial precisa, controle rigoroso das etapas experimentais e equipamentos específicos, o que dificulta sua aplicação em ambientes de ensino com recursos limitados.

De acordo com a descrição oficial do método, “a amostra é acidificada até $\text{pH} \leq 2$, normalmente com HCl ou H_2SO_4 , para converter ácidos graxos e sabões em formas não dissociadas, favorecendo sua extração para a fase orgânica” (APHA; AWWA; WEF, 2017, p. 5520B-1). Em seguida, a amostra é transferida para um funil de separação de 2 L, onde se adiciona 30 mL de n-hexano. A mistura é agitada vigorosamente por dois minutos, permitindo a partição dos compostos oleosos para a fase orgânica. A separação é feita por decantação, e a fase orgânica é filtrada sobre Na_2SO_4 anidro e papel de filtro, visando eliminar água residual.

Uma das principais dificuldades operacionais desse método é a formação de emulsões estáveis durante a extração. Segundo a própria norma, “se permanecerem mais de 5 mL de emulsão após a separação, recomenda-se centrifugação a 2400 rpm por 5 minutos” (APHA; AWWA; WEF, 2017, p. 5520B-2). No entanto, essa etapa se torna um entrave quando realizada em laboratórios sem centrífuga, exigindo alternativas como filtração prolongada ou repouso, que podem comprometer a eficiência da análise.

Após a extração, as porções orgânicas são reunidas em balão de destilação e o solvente é evaporado em banho-maria a $85\text{ }^\circ\text{C}$. Em seguida, aplica-se o vácuo para remoção dos resíduos voláteis, e o balão é dessecado e pesado até atingir massa constante. A concentração de OGs é calculada com base na diferença de massas e no volume de amostra analisado (EPA, 1998; APHA; AWWA; WEF, 2017).

2.1 Adaptação do método 5520 B

Considerando as limitações técnicas e operacionais do método original, este trabalho propõe uma versão adaptada do protocolo 5520B, com foco na sua viabilidade didática e técnica em laboratórios escolares, especialmente em cursos técnicos e de licenciatura. A

adaptação teve como referência principal o compêndio da APHA et al. (2017) e buscou manter a essência analítica da metodologia gravimétrica, reduzindo, no entanto, sua complexidade estrutural.

A aplicação foi realizada em amostras de água superficial coletadas no Riacho Perucaba (AL), efluentes industriais e soluções-controle preparadas com óleo de soja e lubrificante automotivo. As amostras foram previamente filtradas e acidificadas com HCl (pH \approx 2), conforme a etapa padrão descrita por APHA et al. (2017), com o objetivo de evitar perdas por volatilização e facilitar a extração de compostos apolares.

A extração foi realizada com volumes reduzidos de solventes — 20 mL de hexano ou éter de petróleo para 100 mL de amostra — utilizando funis de separação agitados manualmente por 3, 5 e 7 minutos. A substituição de equipamentos sofisticados, como centrífugas e sistemas de destilação, por procedimentos simplificados (como decantação, filtração por gravidade e evaporação em estufa) visou tornar o protocolo acessível a ambientes educacionais com infraestrutura limitada.

Conforme orientações do manual técnico, “a evaporação completa do solvente deve ser assegurada por aquecimento controlado e resfriamento em dessecador antes da pesagem final” (APHA; AWWA; WEF, 2017, p. 5520B-3). Neste trabalho, o solvente foi evaporado em chapa aquecida e, posteriormente, em estufa a 100 °C até que se atingisse massa constante, determinada em balança analítica com precisão de 0,0001 g. A concentração de OGs foi então calculada pela razão entre a massa de resíduo e o volume analisado (mg/L).

Todas as etapas foram realizadas em capela de exaustão, com descartes corretos dos resíduos orgânicos, atendendo às normas de biossegurança e boas práticas laboratoriais. As principais adaptações do protocolo envolveram:

1. Evaporação substituindo destilação;
2. Agitação manual no lugar de centrifugação;
3. Redução de volumes de solventes e amostras;
4. Uso exclusivo de vidrarias simples, como béqueres, funis e frascos de vidro comum.

A eficiência da metodologia foi testada comparando o desempenho de dois solventes (n-hexano e éter de petróleo) e diferentes tempos de agitação. As amostras naturais apresentaram resultados consistentes, variando entre 2,4 mg/L e 9,2 mg/L, dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2. Por outro lado, os testes com amostras de efluentes apresentaram maiores margens de erro, atribuídas à presença de interferentes como sólidos suspensos e emulsões estáveis, com desvios variando de 13,1% (óleo vegetal) a 48,4% (lubrificante automotivo).

Em resumo, a metodologia adaptada preserva a lógica analítica do método 5520B, conforme definido pela APHA et al. (2017), e demonstra-se viável para uso didático. Além de promover a aprendizagem de conceitos como polaridade, solubilidade, extração e gravimetria, sua aplicação permite integrar conteúdos de Química ambiental com discussões sobre poluição hídrica e legislação ambiental, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 430/2011 e pelas diretrizes da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2022).

2.2. Determinação gravimétrica de óleos e graxas (OGs) em águas superficiais

A aplicação do protocolo adaptado permitiu a quantificação gravimétrica de óleos e graxas (OGs) em amostras de águas superficiais coletadas no Riacho Perucaba, em Alagoas, com valores variando entre 2,4 mg/L e 9,2 mg/L. Esses resultados se mantêm abaixo do limite estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005, que estipula o valor máximo de 20 mg/L para corpos d'água classificados como classe 2, destinados ao abastecimento público após tratamento convencional.

O método demonstrou sensibilidade adequada para detectar baixas concentrações de OGs, mesmo com a simplificação operacional aplicada, que incluiu etapas de filtração, separação por decantação, evaporação do solvente e pesagem em balança analítica. Conforme a American Public Health Association (APHA; AWWA; WEF, 2017, p. 5520B-3), "a gravimetria por evaporação é eficaz na quantificação de compostos oleosos quando conduzida sob condições padronizadas e rigorosas". A confiabilidade da metodologia foi verificada com uso de amostras-controle, atendendo aos critérios de exatidão e reprodutibilidade recomendados pela ABNT ISO/IEC 17025:2017 para laboratórios de ensaio. Contudo, ressalta-se que, em matrizes mais complexas, a presença de sólidos suspensos pode interferir

na extração, sendo necessário pré-tratamento, como destacado por Garcez (2004) e Juliatto (2006).

2.3. Eficiência de extração de óleos e graxas

A comparação entre dois solventes orgânicos — n-hexano e éter de petróleo — evidenciou diferenças relevantes na eficiência de extração de OGs. O hexano, padrão no método EPA 1664 (EPA, 1998), mostrou maior seletividade para compostos apolares. Por outro lado, o éter de petróleo apresentou vantagens como menor custo, volatilidade moderada e menor toxicidade, características importantes para laboratórios educacionais.

Favaro et al. (2022) observaram que “o uso de solventes com menor toxicidade em ambientes escolares amplia as possibilidades de experimentação sem comprometer a segurança dos envolvidos”. Em matrizes complexas, como efluentes industriais, com concentrações entre 232 e 7.132 mg/L, ambos os solventes enfrentaram dificuldades associadas à formação de emulsões estáveis, exigindo maior controle operacional, o que corrobora as observações de Carvalho e Kruk (2022). Além disso, a densidade dos óleos analisados influenciou diretamente a recuperação gravimétrica: o óleo lubrificante (0,88 g/mL) apresentou maior volatilidade residual que o óleo de soja (0,93 g/mL), interferindo na eficiência do método (Silva et al., 2015).

2.4. Impacto do tempo de agitação

O tempo de agitação durante a extração foi outro fator de relevância técnica. Foram testadas três durações (3, 5 e 7 minutos), com resultados que demonstraram que tempos mais longos favoreceram a extração em amostras diluídas, mas, por outro lado, aumentaram o risco de emulsificação em matrizes oleosas complexas, como os efluentes industriais.

De acordo com Souza (2008), em experimentos envolvendo resíduos orgânicos de alta viscosidade, "tempos prolongados de agitação favorecem a estabilidade de emulsões, dificultando a separação das fases e exigindo etapas adicionais de centrifugação ou repouso". Para águas superficiais, o tempo de 5 minutos revelou-se ideal, promovendo equilíbrio entre eficiência de extração e operacionalidade, conforme também apontado pelo *Standard Methods* (APHA; AWWA; WEF, 2017). A adaptação desse parâmetro ao contexto da matriz analisada reforça os princípios da aprendizagem baseada em problemas (PBL), como defendido por

Jansson et al. (2015), em que a experimentação científica é adaptada a situações reais de ensino e análise.

3. POTENCIALIDADE PEDAGÓGICA DO PROTOCOLO

3.1 Integração entre experimentação científica, formação a nível médio e ensino por investigação

A adaptação do método 5520B para ambientes escolares representa mais que uma adequação técnica: configura-se como uma ferramenta pedagógica potente para promover o ensino de Química por meio da investigação científica, alinhado à realidade e às competências cognitivas dos estudantes do ensino médio. O protocolo permite que os alunos vivenciem de forma estruturada todas as etapas do fazer científico — desde a problematização até a análise e interpretação dos dados —, promovendo a consolidação de aprendizagens ativas e contextualizadas.

Ao manipular variáveis como o tipo de solvente, o tempo de agitação e a natureza da amostra, os estudantes são estimulados a formular hipóteses, testar diferentes procedimentos e refletir sobre os resultados obtidos. Tal prática está em consonância com os pressupostos do ensino por investigação, que, segundo Jansson et al. (2015), favorece a autonomia intelectual, o raciocínio lógico e a capacidade de argumentação. Essa abordagem rompe com o ensino tradicional centrado na repetição de fórmulas, abrindo espaço para o protagonismo discente e para o desenvolvimento da competência científica.

A introdução desse protocolo no ensino médio também contribui diretamente para a formação científica crítica e aplicada, em consonância com os objetivos da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Ao explorar conteúdos como gravimetria, extração por solventes, solubilidade, separação de fases e poluição hídrica, a atividade promove a articulação entre conhecimento químico, realidade social e legislação ambiental. Como destacam Mainier e Mainier (2024), experiências laboratoriais contextualizadas permitem que os estudantes compreendam a ciência como um campo dinâmico e socialmente implicado, e não como um conjunto de informações isoladas.

Ademais, a flexibilidade metodológica do protocolo permite sua aplicação em escolas com diferentes níveis de infraestrutura, utilizando materiais simples e acessíveis, como funis de separação, béqueres e estufas. Isso democratiza o acesso à experimentação científica de qualidade, aspecto crucial para redes públicas de ensino médio, frequentemente carentes de recursos laboratoriais. Conforme afirma Dunnivant et al. (2002), "a ciência torna-se verdadeiramente educativa quando envolve os alunos em situações reais de análise e

resolução de problemas ambientais". Dessa forma, a atividade desenvolve não apenas habilidades cognitivas, mas também um senso ético e socioambiental entre os jovens, preparando-os para agir com responsabilidade e criticidade no mundo contemporâneo.

3.2 Educação ambiental, Química Verde e construção da consciência socioambiental no ensino médio

Ao abordar diretamente a temática da contaminação de águas superficiais por óleos e graxas (OGs), a aplicação do protocolo adaptado do método 5520B oferece aos estudantes do ensino médio uma oportunidade concreta de integrar conteúdos curriculares da Química com problemáticas ambientais reais. Essa articulação entre prática científica e questões socioambientais favorece o desenvolvimento do letramento científico e ambiental, possibilitando que os alunos compreendam a ciência não apenas como conhecimento técnico, mas como ferramenta para analisar criticamente o mundo que os cerca.

A análise dos resultados obtidos nas amostras de água, quando comparada com os limites estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, permite que os estudantes dialoguem com a legislação ambiental brasileira, desenvolvendo competências de interpretação normativa, tomada de decisões e análise de dados com base em evidências. Tal prática está em consonância com as diretrizes da BNCC, que prevê o desenvolvimento da competência geral nº 7: "argumentar com base em fatos, dados e informações confiáveis, para formular, negociar e defender ideias, pontos de vista e decisões comuns que respeitem e promovam os direitos humanos, a consciência socioambiental e o consumo responsável" (Brasil, 2018).

A relevância da abordagem ambiental no ensino de Química é amplamente discutida por autores como Kansal (2015), que defende a inserção de temáticas ecológicas como estratégia para tornar o conteúdo mais significativo e conectado com o cotidiano do aluno. Ao vivenciarem o processo de quantificação de OGs, os estudantes compreendem os impactos da ação humana sobre os recursos hídricos, ampliando sua percepção sobre as inter-relações entre ciência, tecnologia, sociedade e meio ambiente (CTSA). Além disso, essa prática permite explorar o papel da Química no diagnóstico e na mitigação de problemas ambientais, reforçando sua relevância social.

A proposta também está alinhada aos princípios da Química Verde, ao reduzir o uso de reagentes tóxicos, otimizar o consumo de solventes e reutilizar materiais sempre que possível.

Segundo Chen, Li e Wang (2012), práticas laboratoriais sustentáveis devem ser incentivadas desde os níveis básicos de ensino, a fim de consolidar valores ambientais e promover a formação de uma consciência ecológica sólida e duradoura. Essa perspectiva é reforçada por Koulougliotis, Paschalidou e Salta (2024), ao afirmarem que “a experimentação baseada na Química Verde engaja os alunos em processos reflexivos sobre o papel transformador da ciência”.

Além do conteúdo disciplinar, o protocolo estimula o desenvolvimento de habilidades transversais, como autonomia, cooperação, pensamento crítico e responsabilidade social, especialmente quando aplicado em formato colaborativo, com divisão de tarefas, registros em cadernos de laboratório e discussão coletiva dos resultados. A adoção de metodologias ativas — como a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL) e a abordagem STEAM — potencializa o uso pedagógico do experimento, ampliando sua capacidade de promover aprendizagens significativas. Segundo Sadiku, Fagbohunbe e Musa (2020), a Química Ambiental no ensino básico deve ser abordada como um campo integrador, capaz de articular múltiplos saberes e formar cidadãos comprometidos com a sustentabilidade.

Por fim, ao envolver os estudantes em todas as etapas do experimento — desde a coleta e preparação das amostras até a análise crítica dos dados — o protocolo contribui para a formação ética e cidadã, promovendo o engajamento com causas públicas e estimulando a reflexão sobre os limites e as possibilidades da ciência na construção de um futuro mais justo e sustentável. Como destaca Qiu (2024), “a experimentação contextualizada em Química não é apenas uma técnica de ensino, mas uma forma de formação para a cidadania ambiental”. Assim, a adoção dessa metodologia em escolas de ensino médio representa uma oportunidade concreta de renovar as práticas pedagógicas e de conectar o ensino de Química aos grandes desafios do século XXI.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adaptação do método 5520B foi submetida à aplicação experimental em diferentes matrizes aquosas, abrangendo amostras de águas superficiais coletadas em ambiente natural, efluentes industriais, além de soluções-controle preparadas com óleo lubrificante e óleo de soja. A diversidade das amostras visou testar a robustez e a aplicabilidade do protocolo proposto em diferentes contextos de complexidade. A análise dos resultados concentrou-se na avaliação da eficiência de extração dos óleos e graxas, na precisão gravimétrica dos valores obtidos, na margem de erro relativa entre amostras e na identificação de limitações operacionais, como a formação de emulsões e a interferência de sólidos suspensos.

Os dados experimentais também permitiram refletir sobre a viabilidade da implementação do protocolo em ambientes educacionais, especialmente na educação básica e técnica, considerando sua simplicidade, segurança e potencial formativo. Assim, a investigação não apenas valida a eficácia da adaptação metodológica, como também oferece subsídios para sua utilização didática futura em atividades que integrem a Química ambiental com a experimentação científica escolar.

4.1 Análise das amostras de águas superficiais

As análises realizadas com as amostras de águas superficiais revelaram concentrações de óleos e graxas (OGs) variando entre 2,4 mg/L e 9,2 mg/L, conforme apresentado na Tabela 1. Todos os valores se mantiveram abaixo do limite máximo permitido de 20 mg/L, estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas doces de classe 2, utilizadas para abastecimento doméstico, recreação e irrigação. Esses resultados evidenciam uma baixa carga de poluentes oleosos nas amostras analisadas, além de atestar a sensibilidade analítica do protocolo adaptado do método 5520B, mesmo em matrizes aquosas com baixa concentração de contaminantes. A estabilidade das medidas obtidas, associada à simplicidade operacional do procedimento, reforça a aplicabilidade do método em contextos educativos que visem à integração entre análise ambiental e formação científica.

Tabela 1 – Concentração de OGs em amostras de águas superficiais

Amostra	Volume (L)	PIT (g)	PFT (g)	OG (mg/L)
1	0,5	51,0356	51,0387	6,2
2	0,5	49,6589	49,6602	2,6
3	0,5	50,1748	50,1775	5,4
4	0,5	48,6589	48,6607	3,6
5	0,5	49,5562	49,5601	7,8
6	0,5	49,0305	49,0351	9,2
7	0,5	48,1658	48,167	2,4
8	0,5	50,2256	50,2275	3,8

Fonte: Elaborada pelos autores.

As concentrações de OGs nas amostras de águas superficiais variaram entre 2,4 mg/L e 9,2 mg/L, conforme a Tabela 1. Tais valores estão abaixo do limite de 20 mg/L estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para águas de classe 2, e muito aquém do limite de 100 mg/L para efluentes, conforme a Resolução CONAMA nº 430/2011. Esses dados demonstram a sensibilidade do protocolo adaptado para identificar OGs em baixas concentrações, especialmente em matrizes com baixa interferência. Embora não indiquem inconformidade ambiental, concentrações superiores a 5 mg/L, observadas em parte das amostras, sugerem a necessidade de monitoramento. A comparação com os parâmetros legais destaca o potencial pedagógico do método como recurso para ensino e análise crítica da legislação ambiental no contexto da Química.

4.2 Análise de efluentes industriais

Em contraste com os resultados obtidos nas amostras de águas superficiais, as análises realizadas em efluentes industriais revelaram uma realidade bem distinta. As concentrações de óleos e graxas (OGs) encontradas nesse tipo de matriz variaram de 232 mg/L a 7.132 mg/L (Tabela 2), valores substancialmente mais elevados e muito acima dos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

Essa discrepância acentuada evidencia não apenas a gravidade da contaminação em ambientes industriais, mas também os desafios técnicos enfrentados na aplicação do protocolo adaptado em matrizes mais complexas. A presença de emulsões estáveis, resíduos sólidos e compostos interferentes dificultou a eficiência do processo de extração, indicando que, embora o método se mostre promissor para fins didáticos e para águas menos contaminadas,

sua utilização em efluentes exige adaptações complementares. Isso inclui, por exemplo, a incorporação de etapas de pré-tratamento ou o uso de desemulsificantes que possibilitem maior recuperação dos analitos.

Esses achados ressaltam a importância de compreender os limites e as possibilidades de aplicação do protocolo proposto, especialmente quando se considera sua finalidade educacional. Ao mesmo tempo em que evidencia lacunas, essa etapa do estudo amplia o campo de discussões em sala de aula sobre o tratamento de resíduos líquidos, o impacto de atividades industriais nos recursos hídricos e os desafios da análise ambiental em contextos reais.

Tabela 2 – Concentração de OGs em amostras efluentes industriais

Amostr a	Volume (L)	PIT (g)	PFT (g)	OG (mg/L)
1	0,1	49,9576	49,9808	232
2	0,1	52,3777	52,5671	1894
3	0,1	50,6216	50,6586	370
4	0,1	50,5325	51,2457	7132
5	0,1	49,1526	49,2587	1061

Fonte: Elaborada pelos autores.

A análise dos resultados obtidos — em especial a comparação entre as baixas concentrações de óleos e graxas (OGs) nas amostras de águas superficiais e os altos níveis detectados em efluentes industriais — revela uma oportunidade pedagógica rica para o ensino médio. Ao vivenciar esse contraste em sala de aula, os estudantes não apenas compreendem os fundamentos da Química analítica, como também são provocados a refletir sobre a realidade ambiental que os cerca. A conexão direta entre experimento e legislação, por meio das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011, favorece a articulação entre conteúdo escolar e cidadania, tornando o aprendizado mais significativo e contextualizado.

Nesse sentido, a aplicação do protocolo adaptado do método 5520B pode ser inserida em um projeto interdisciplinar que envolva ciências da natureza, geografia e até educação ambiental. Ao interpretar os dados obtidos, comparar com os parâmetros legais e discutir possíveis causas e soluções para a poluição hídrica, os estudantes exercitam não só habilidades científicas — como observação, registro e análise — mas também competências socioambientais. Com isso, a escola se consolida como um espaço de investigação, diálogo e

transformação, em que a Química assume seu papel social e formativo, aproximando os jovens dos desafios do mundo real de maneira crítica, engajada e responsável.

4.3 Avaliação da margem de erro com amostras controle

Os testes com amostras controle trouxeram à tona dados relevantes para a análise da eficiência do protocolo adaptado, especialmente no que diz respeito à confiabilidade do método em diferentes contextos. As margens de erro observadas variaram entre 13,1% e 48,4% (Tabela 3), sendo notadamente menores nas amostras preparadas com óleos vegetais, como o óleo de soja. Esse resultado sugere uma maior afinidade dessas substâncias com o solvente empregado, o que favorece sua extração e quantificação. Essa constatação, além de evidenciar aspectos técnicos do método, permite ao estudante do ensino médio compreender como a natureza química das substâncias interfere diretamente no desempenho de análises laboratoriais, criando conexões entre teoria e prática de forma acessível e contextualizada.

Tabela 3 – Margem de erro nas análises de amostras controle

Óleo adicionado (mg/L)	Resultado (mg/L)	Erro (%)
8800 (lubrificante)	7104,4	19,3
8800	4539	48,4
8800	5454	38
9300 (óleo de soja)	8080,6	13,1
1860	1293,8	30,4
930	741,2	20,3

Fonte: Elaborada pelos autores.

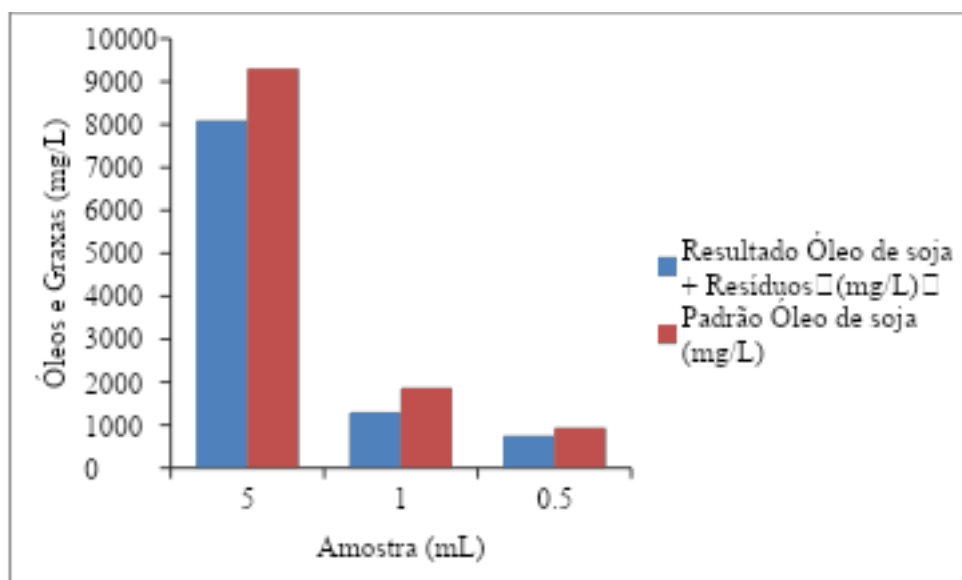
A análise das margens de erro obtidas com amostras controle revelou variações significativas — entre 13,1% e 48,4% — com desempenho mais favorável nas amostras preparadas com óleo vegetal, como o de soja. Tal resultado pode ser atribuído à maior afinidade química desse tipo de óleo com o hexano, solvente utilizado no processo, bem como à sua menor viscosidade, que facilita tanto a extração quanto a evaporação durante a etapa gravimétrica. Em contrapartida, o óleo lubrificante apresentou erros superiores a 40%, fato que evidencia uma menor eficiência do método frente a substâncias de natureza mais complexa. A dificuldade de extração, nesse caso, pode ser explicada por fatores como maior

viscosidade, tendência à formação de emulsões estáveis e a presença de aditivos polares que interferem na seletividade do solvente e comprometem a precisão da pesagem final.

No contexto do ensino médio, essa comparação entre os dois tipos de amostra representa uma excelente oportunidade para enriquecer o ensino experimental, ao permitir que os estudantes compreendam, de maneira prática, como as propriedades físico-químicas das substâncias influenciam os resultados analíticos. Ao discutir as causas das margens de erro e suas implicações, o protocolo possibilita a introdução de temas como solubilidade, densidade, polaridade, volatilidade e controle de variáveis experimentais — todos fundamentais para o desenvolvimento de competências científicas e investigativas. Além disso, a visualização crítica dos dados estimula o pensamento reflexivo sobre os limites e as possibilidades da ciência, fortalecendo a formação de estudantes capazes de compreender e intervir em problemas ambientais com base em evidências.

A seguir, o Gráfico 1 apresenta a variação da margem de erro observada nas amostras controle preparadas com óleo de soja. Os dados ilustram a consistência dos resultados obtidos e a eficiência do método adaptado frente a essa matriz menos complexa.

Gráfico 1 – Variação da margem de erro no processo do óleo de soja em gráfico



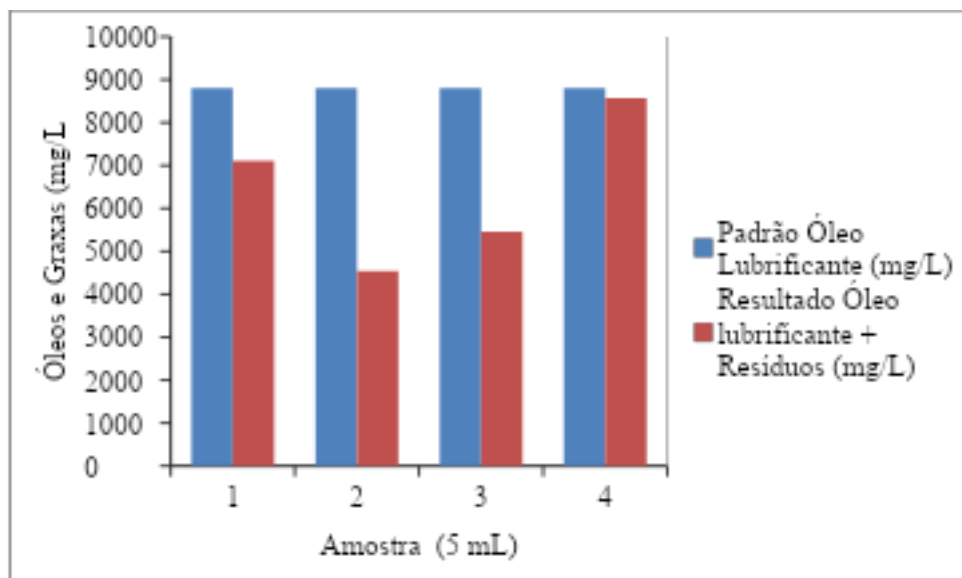
Observa-se que a variação da margem de erro obtida nas análises com amostras controle contendo óleo de soja, um óleo vegetal caracterizado por sua menor viscosidade e

maior homogeneidade. Os valores oscilaram entre 13,1% e 30,4%, com destaque para a menor margem de erro próxima a 13%, o que indica uma boa reprodutibilidade da metodologia para essa matriz. Esse desempenho está diretamente associado à elevada compatibilidade entre o óleo de soja e o hexano, solvente utilizado na extração, o que facilita a separação das fases e a eficiência na recuperação dos compostos graxos.

A baixa viscosidade do óleo vegetal também favorece menor formação de emulsões, diminuindo interferências que poderiam comprometer o rendimento da extração e a precisão da evaporação gravimétrica. Dessa forma, o gráfico evidencia que, em amostras mais simples e com composição previsível, como as de origem vegetal, o protocolo experimental adaptado se mostra mais robusto e confiável. Esse resultado é particularmente relevante para sua utilização em práticas didáticas, nas quais a estabilidade e a previsibilidade dos dados são fundamentais para a compreensão dos princípios analíticos e ambientais envolvidos.

Já o Gráfico 2 apresenta a variação da margem de erro obtida nas análises realizadas com amostras controle contendo óleo lubrificante usado, uma matriz mais complexa e de elevada viscosidade, que desafia a eficiência do método adaptado.

Gráfico 2 – Variação da margem de erro no processo do óleo lubrificante em gráfico



Os resultados revelam margens de erro expressivamente superiores às observadas com óleo vegetal, variando de 19,3% a 48,4%, sendo este último o maior valor registrado entre

todas as amostras analisadas. Essa amplitude de variação está diretamente relacionada a propriedades como a alta viscosidade do lubrificante, sua baixa afinidade com o solvente utilizado (hexano), e a presença de aditivos polares que dificultam a extração e favorecem a formação de emulsões estáveis.

Tais fatores comprometem tanto a separação eficiente das fases quanto a evaporação completa do solvente, resultando em resíduos contaminados ou incompletamente recuperados, o que afeta negativamente a precisão da pesagem final. Embora esses dados revelem limitações do método adaptado para amostras contendo OGs de origem mineral, sua utilização em ambientes educacionais permanece relevante. Isso porque permite explorar, de forma prática, a influência da matriz sobre os resultados analíticos, estimulando nos estudantes reflexões críticas sobre seletividade de métodos, adequação de protocolos e as nuances envolvidas na análise de substâncias com diferentes composições.

4.4 A aplicação didática

No que diz respeito à aplicação didática (Figura 1), a proposta apresentada neste estudo converge com diversas abordagens contemporâneas de ensino de Química, em especial aquelas que articulam ciência, sustentabilidade e cidadania. Tal alinhamento é observado em estudos como o de Silva et al. (2015), que demonstram que a prática experimental contextualizada, ao abordar problemas ambientais concretos, contribui significativamente para o engajamento dos estudantes e para a construção de saberes científicos significativos.

Figura 1– Aula Prática sobre parâmetros de qualidade da água



Fonte: Autores, 2025

A adaptação do método 5520B para a determinação gravimétrica de óleos e graxas, conforme desenvolvido nesta pesquisa, insere-se nesse panorama ao integrar um protocolo

analítico viável, seguro e de baixo custo com temas ambientais de relevância social, cumprindo assim as diretrizes da Química Verde (Koulouglotis; Paschalidou; Salta, 2024; Chen; Li; Wang, 2012). Além disso, como reforçam Aoki, Rastede e Gupta (2021), atividades laboratoriais que abordam justiça ambiental e sustentabilidade possibilitam não apenas o desenvolvimento cognitivo dos alunos, mas também sua sensibilização para questões éticas e ecológicas.

Essa perspectiva também é reforçada por Cooper, Elzerman e Lee (2001), que destacam a importância de uma abordagem curricular que torne a Química mais próxima dos desafios do século XXI. No contexto desta pesquisa, a implementação da metodologia adaptada foi testada em uma escola pública de Maceió (AL), com alunos da 2ª série do ensino médio, por meio de uma sequência didática estruturada em três etapas. Inicialmente, os estudantes participaram de uma aula expositiva sobre saneamento básico e impactos da poluição hídrica, contextualizando a discussão a partir das Resoluções CONAMA nº 357/2005 e nº 430/2011. Em seguida, foram organizados em grupos para propor soluções experimentais acessíveis, construindo filtros e analisando parâmetros físicos da água. A metodologia da aprendizagem baseada em problemas (Jansson et al., 2015) foi central para esse processo, mobilizando saberes interdisciplinares e promovendo a autonomia dos discentes.

Na segunda etapa, os alunos realizaram, com acompanhamento docente, a determinação gravimétrica de óleos e graxas (OGs) por meio da adaptação do método 5520B. Essa atividade experimental permitiu que observassem in loco a presença de poluentes em amostras de água, relacionando diretamente os conceitos de solubilidade, extração por solventes e massa residual com os impactos ambientais da presença de OGs nos corpos hídricos.

Tal experiência foi especialmente significativa porque envolveu uma matriz analítica próxima da realidade local e utilizou vidrarias acessíveis, conforme proposto por Mainier e Mainier (2024) e Sadiku, Fagbohungebe e Musa (2020), que defendem a importância de protocolos experimentais adaptáveis às condições das escolas brasileiras. As limitações observadas durante o experimento (como a formação de emulsões ou a variação da margem de erro) tornaram-se, por sua vez, objeto de discussão pedagógica sobre variáveis experimentais, propriedades físico-químicas dos compostos e a importância do controle de parâmetros.

Por fim, na etapa de socialização dos resultados, os grupos apresentaram suas conclusões e reflexões em roda de conversa, com mediação do professor. Aplicou-se um questionário em escala Likert (Feijó et al., 2020) para avaliar a percepção dos alunos sobre a proposta didática. Os dados revelaram que 78% dos estudantes consideraram a integração entre teoria e prática essencial para a compreensão dos conteúdos, enquanto 82% destacaram a relevância ambiental do experimento.

Esses achados convergem com os apontamentos de Dunnivant et al. (2002) e Qiu (2024), que defendem a experimentação como ferramenta formadora de consciência crítica e ecológica. Dessa forma, a aplicação do protocolo adaptado não apenas valida uma proposta metodológica para o ensino de Química Ambiental, mas também evidencia o potencial das práticas experimentais em promover um ensino investigativo, interdisciplinar e socialmente comprometido, como advogam as diretrizes educacionais mais recentes (Nascimento, 2025; Weinter, 2000).

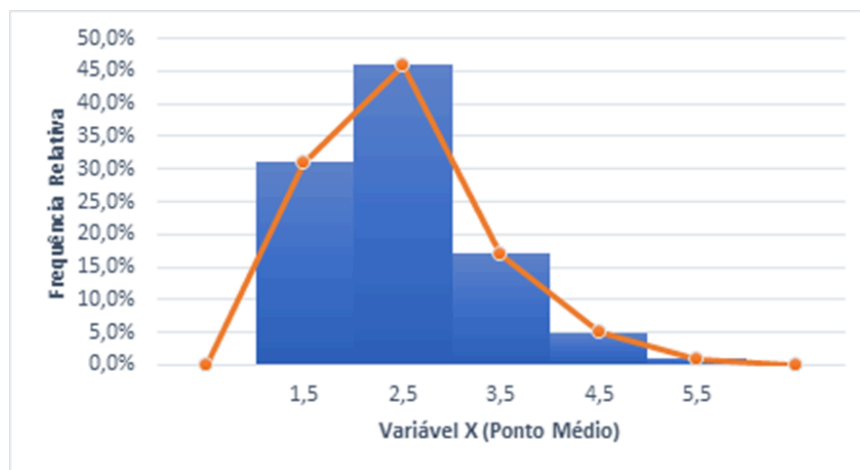
4.4.1 Percepção dos estudantes

Com o objetivo de avaliar a efetividade da proposta metodológica adotada, os estudantes foram convidados a responder, ao término da sequência didática, a um questionário estruturado com base na escala Likert (anexo), composto por afirmações relacionadas à clareza do conteúdo, aplicabilidade do experimento e relação entre teoria e prática. Essa etapa teve como finalidade captar a percepção dos discentes quanto ao impacto pedagógico da atividade, em especial na compreensão das propriedades físico-químicas da água e dos parâmetros de qualidade discutidos em sala.

O Gráfico 3, apresentado a seguir, sintetiza a distribuição das respostas, evidenciando uma tendência majoritariamente positiva por parte dos alunos. A maioria dos participantes indicou que a experiência prática favoreceu a fixação dos conceitos e possibilitou uma compreensão mais concreta e significativa dos conteúdos trabalhados, como a turbidez, presença de substâncias oleosas e variações na coloração e odor da água. Tais resultados corroboram os achados de Kansal (2015) e Mandler et al. (2012), ao indicarem que abordagens experimentais que integram temas ambientais à prática investigativa geram maior engajamento, promovem a construção de sentidos e facilitam o diálogo entre ciência, realidade local e cidadania. Assim, a utilização de instrumentos avaliativos como esse reforça

o caráter formativo da atividade, oferecendo subsídios para o aprimoramento contínuo das estratégias pedagógicas no ensino de Química.

Gráfico 3– Percepção dos estudantes sobre a efetividade da integração entre teoria e prática



A Figura acima apresenta o histograma e o polígono de frequência relativa das respostas dos estudantes ao questionário aplicado após a realização da sequência didática, baseado na escala Likert (Feijó et al., 2020). Cada afirmativa do instrumento foi respondida a partir de cinco possibilidades: A = concordo totalmente, B = concordo, C = indeciso, D = discordo, e E = discordo totalmente. Para fins de análise estatística, as respostas foram convertidas em valores numéricos (A = 1; B = 2; C = 3; D = 4; E = 5), sendo utilizada a média dos limites de classe (x_i) para construção das colunas: A = 1,5; B = 2,5; C = 3,5; D = 4,5; E = 5,5.

A proposta investigativa, centrada na junção entre aulas teóricas e práticas em laboratório para o ensino das propriedades físico-químicas da água, revelou-se efetiva, conforme as percepções captadas por meio do questionário. Os dados indicam que 78% dos alunos participantes avaliaram positivamente a metodologia adotada, destacando que a integração entre teoria e prática potencializou a compreensão dos conceitos e favoreceu uma aprendizagem mais concreta e contextualizada. Esse dado expressivo confirma a relevância de estratégias didáticas que envolvem o estudante de maneira ativa no processo de construção do conhecimento.

Além disso, a combinação entre atividades experimentais com materiais acessíveis, mediação docente e reflexões sobre questões ambientais permitiu aos estudantes relacionar o conteúdo escolar à realidade cotidiana. Esse resultado está alinhado com as contribuições de Souza (2008) e Silva et al. (2015), que apontam a experimentação como ferramenta de motivação e aproximação entre ciência e cidadania. De igual modo, autores como Nascimento (2025), Aoki, Rastede e Gupta (2021) defendem que práticas interdisciplinares e contextualizadas ampliam o engajamento discente, especialmente quando vinculadas a temas como sustentabilidade e justiça ambiental. Portanto, os achados desta pesquisa sugerem que a abordagem aqui proposta não apenas promove ganhos cognitivos, mas também fortalece a formação crítica e ambientalmente consciente dos estudantes, podendo ser adaptada a diferentes contextos escolares com significativa repercussão pedagógica.

4.4.2 Potencial interdisciplinar

Os dados deste trabalho, ao validarem o método gravimétrico adaptado para o ensino de Química (Seção 2.1), revelam igualmente seu significativo potencial interdisciplinar. Como destacam Koulougliotis, Paschalidou e Salta (2024), "a transversalidade metodológica constitui elemento fundamental para uma aprendizagem contextualizada e socialmente relevante". Neste sentido, a Tabela 4 sintetiza as três principais vertentes de aplicação identificadas:

Tabela 4 - Eixos Interdisciplinares de Aplicação do Método

Eixo Disciplinar	Aplicações Específicas	Fundamentação Teórica
Química e Educação Tecnológica	Técnicas de separação de misturas; Gravimetria; Propriedades físico-químicas das substâncias; Solubilidade; Química analítica Ambiental; Química verde e sustentabilidade; interações intermoleculares; Parâmetros de qualidade da água; metodologia científica por investigação; química e cidadania.	APHA (2017); Favaro et al. (2022)

Biologia e Ciências Ambientais	Impactos ecossistêmicos; Monitoramento hídrico; Educação ambiental.	ANA (2022); Garcez (2004)
Contexto Legal e Gestão Ambiental	Análise de conformidade; Legislação ambiental; Políticas públicas.	CONAMA (2005, 2011)

Esta abordagem multidimensional, conforme demonstrado na aplicação prática com estudantes (Seção 4.4.1), não apenas consolida os conceitos químicos fundamentais, mas também promove a articulação entre teoria e prática laboratorial, facilita a compreensão de problemas ambientais complexos e estimula o pensamento crítico sobre políticas públicas. Como observado por Jansson et al. (2015), tal integração interdisciplinar "favorece a autonomia intelectual e a capacidade de argumentação fundamentada", aspectos essenciais para a formação cidadã no século XXI.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa tratou sobre a adaptação do método 5520B para a determinação gravimétrica de óleos e graxas (OGs) em águas superficiais, com foco na aplicação didática em laboratórios escolares de nível médio. O estudo se mostrou relevante em razão de sua contribuição para o ensino de Química Ambiental, ao propor um protocolo experimental acessível, seguro e contextualizado, capaz de integrar conteúdos técnico-científicos com questões socioambientais contemporâneas.

Ao longo da pesquisa, observaram-se algumas limitações, como as dificuldades operacionais durante a extração de OGs em matrizes mais complexas, especialmente efluentes industriais contendo óleo lubrificante, que apresentaram maior formação de emulsões, viscosidade elevada e menor afinidade com o solvente utilizado. Ainda assim, a proposta mostrou-se eficaz para amostras de águas superficiais e controle com óleo vegetal, evidenciando sensibilidade e aplicabilidade didática.

No que diz respeito ao objetivo geral — propor um protocolo experimental adaptado do método 5520B para a determinação gravimétrica de OGs, com aplicação em laboratório didático e abordagem contextualizada de temas ambientais no ensino de Química —, o resultado alcançado foi a validação de uma metodologia compatível com a realidade de escolas públicas e tecnicamente adequada para fins educacionais.

Em relação aos objetivos específicos:

- O primeiro, adaptar o método 5520B para um protocolo experimental simplificado, seguro e viável para aplicação em laboratórios didáticos, foi plenamente atendido, com a elaboração de um procedimento acessível e reproduzível, com materiais disponíveis em instituições de ensino.
- O segundo, aplicar o protocolo na determinação gravimétrica de OGs em águas superficiais previamente coletadas, também foi cumprido, revelando concentrações entre 2,4 e 9,2 mg/L — todas abaixo do limite legal estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357/2005.
- Por fim, o terceiro objetivo, discutir a potencialidade pedagógica do protocolo, foi desenvolvido a partir da aplicação da atividade em uma turma do ensino médio,

sendo avaliado por meio de questionário em escala Likert, com resultados que indicaram alta aceitação da metodologia pelos estudantes e reconhecimento do seu valor formativo.

Diante disso, a hipótese de que um método analítico ambiental adaptado pode ser aplicado com sucesso em contextos educacionais, promovendo aprendizagens significativas e conscientização ambiental, foi confirmada.

Considerando o problema da pesquisa — é possível adaptar métodos analíticos de uso técnico para a realidade do ensino médio, de forma segura, acessível e significativa? —, pode-se chegar à seguinte resposta: sim, especialmente quando há articulação entre os conteúdos químicos, as práticas investigativas e os temas ambientais, com mediação docente intencional e comprometida.

Como proposta para efetivar a solução do problema, sugere-se que os sistemas de ensino incentivem a formação de professores com ênfase em práticas experimentais sustentáveis, bem como a adoção de metodologias ativas e contextualizadas, que permitam aos estudantes compreender a Química como ferramenta de análise e intervenção no mundo real, promovendo o engajamento crítico e a cidadania científica.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Atlas Esgotos: despoluição de bacias hidrográficas.* Brasília: ANA, 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. *Relatório de qualidade das águas superficiais brasileiras.* Brasília: ANA, 2022.

AOKI, E.; RASTEDE, E.; GUPTA, A. *Teaching Sustainability and Environmental Justice in Undergraduate Chemistry Courses. Journal of Chemical Education, [S. I.],* 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00412>. Acesso em: 30 jun. 2025.

APHA; AWWA; WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater. 23. ed. Washington.* 23. Ed. Washington: American Public Health Association, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO/IEC 17025:2017. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração.* Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Resolução CONAMA n.º 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, 16 maio 2011. Seção 1, p. 89.

BRASIL. Portaria GM/MS n° 888, de 4 de maio de 2021. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e à vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 2021.

CARVALHO, R. G.; KRUK, N. S. *Critérios de dimensionamento para sistemas de separação água/óleo em aeroportos.* São José dos Campos: ITA, 2022.

CHEN, H.; LI, D.; WANG, R. A green experiment of environmental chemistry “the determination of degradation constants rate of Rhodamine B by Fenton reagent” *Journal of Environmental Chemistry. [S.I.]*, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-5043.2012.02.019>. Acesso em: 30 jun. 2025.

COOPER, M. M. Et al. Teaching chemistry in the new century: environmental chemistry. *Journal of Chemical Education, [S.I.]*, v. 78, n. 9, p. 1169, 2001. Disponível: <https://doi.org/10.1021/ED078P1169>. Acesso em: 30 jun. 2025.

DE OLIVEIRA APRÍGIO, S. et al. Abordagem da educação ambiental no ensino de Química: uma análise a partir de artigos publicados na revista Química Nova na Escola (QNEsc). *Química Nova*, [S.I.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.21577/0100-4042.20240067>. Acesso em: 30 jun. 2025.

DUNNIVANT, F. M. et al. Teaching chemical speciation to environmental chemists and geochemists using Enviroland. *Journal of Geoscience Education*, [S.I.], v. 50, n. 5, p. 549–552, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.5408/1089-9995-50.5.549>. Acesso em: 30 jun. 2025.

EINAX, J. *Chemometrics in environmental chemistry: applications*. Tóquio: Springer, 2013. Disponível em: <http://ci.nii.ac.jp/ncid/BA2554254X>. Acesso em: 30 jun. 2025.

FAVARO, S. L. et al. A experimentação no ensino de Química: proposta de atividade sobre óleos e graxas em águas superficiais. *Revista Ensino em Re-Vista*, v. 29, n. 1, p. 87–104, 2022.

FAVARO, S. P. et al. *Princípios da extração sem solvente e tecnologias potenciais para obtenção de óleos vegetais*. Documentos Embrapa Agroenergia, n. 43, 2022.

FEIJÓ, A. M. et al. O uso das Escalas Likert nas pesquisas de contabilidade. *Revista Gestão Organizacional*, Chapecó, v. 13, n. 1, p. 27-41, 2020. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/rgo/article/view/5112>. Acesso em: 20 mai. 2025

GARCEZ, R. F. *Monitoramento de águas: fundamentos, métodos e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2004.

GARCEZ, R. M. L. *Avaliação da remoção de óleos e graxas em efluentes de lavanderias industriais utilizando sistemas de coagulação e flotação*. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2004.

JANSSON, S. et al. Implementation of Problem-Based Learning in Environmental Chemistry. *Journal of Chemical Education*, v. 92, p. 2080-2086, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/ED500970Y>. Acesso em: 30 jun. 2025.

JI, Q.; WU, Y. The Penetration of Environmental Awareness in Organic Chemistry Experiment Teaching. *International Journal of Materials Science and Technology Studies*, [S.I.], 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.62051/ijmsts.v1n3.02>. Acesso em: 30 jun. 2025.

JULIATO, A. P. *Monitoramento e análise de águas*. Campinas: Unicamp, 2006.

JULIATO, M. A. *Tratamento de efluentes contendo óleos e graxas: aspectos técnicos e legais*. 2006. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

KANSAL, D. Environmental chemistry education: beyond the horizon of present knowledge. *International Journal of Applied Research*, [S.I.], v. 1, n. 4, p. 118–119, 2015. Disponível em:

<https://www.allresearchjournal.com/archives/?year=2015&vol=1&issue=4&part=C&ArticleId=107>. Acesso em: 30 jun. 2025.

KOULOGLIOTIS, D.; PASCHALIDOU, K.; SALTA, K. Secondary School Students' Engagement with Environmental Issues via Teaching Approaches Inspired by Green Chemistry. *Sustainability*, [S.I.], 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.3390/su16167052>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MAINIER, R. J.; MAINIER, F. B. *Environmental chemistry applied to high school through laboratory experiments*. Curitiba: Seven Editora, 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.56238/sevened2024.009-035>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MANDLER, D. et al. High-school chemistry teaching through environmentally oriented curricula. *Chemistry Education Research and Practice*, [S.I.], v. 13, p. 80-92, 2012.

Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C1RP90071D>. Acesso em: 30 jun. 2025.

NASCIMENTO, A. S. Abordagem STEAM e metodologias ativas: proposta de ensino para professores do ensino técnico. *Contribuciones a Las Ciencias Sociales*, São José dos Pinhais, v. 18, n. 1, p. 01–22, 2025. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/388311967_Abordagem_STEAM_e_metodologias_ativas_proposta_de_ensino_para_professores_do_ensino_tecnico. Acesso em: 4 jun. 2025.

NASCIMENTO, M. A. S. Inovação no ensino de Química por meio da abordagem STEAM: desafios e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, [S.I.], v. 18, n. 1, p. 75–91, 2025.

QIU, F. Research on the Reform of Chemistry Laboratory Teaching under the Construction of Green Ecological Environment. *Region - Educational Research and Reviews*, [S.I.], 2024. Disponível em:

<https://doi.org/10.32629/rerr.v6i8.2505>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SADIKU, M. N. O. Et al. Essence of environmental chemistry. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, [S.I.], v. 6, n. 12, p. 56–62, 2020.

Disponível em: <https://doi.org/10.31695/IJERAT.2020.3671>. Acesso em: 30 jun. 2025.

SILVA, J. P. et al. Educação Ambiental no Ensino de Ciências: contribuições para a formação crítica de professores. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, [S.I.], v. 18, n. 2, p. 135–149, 2025.

SILVA, J. P. et al. Ensino de Química e práticas ambientais: reflexões sobre a formação docente. *Revista Ensino em Revista*, v. 22, n. 1, p. 87–102, 2015.

SILVA, L. S. F. et al. Desenvolvimento de uma técnica ultrassônica para avaliar teores de óleo e graxa em efluentes de biocombustíveis. *Química Nova*, São Paulo, v. 38, n. 10, p. 1339–1344, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150153>. Acesso em: 4 jun. 2025.

SILVA, O. F. da et al. Imersão científica no ensino médio: explorando a hidrodestilação do alecrim e a identificação de compostos orgânicos. *Revista DELOS*, Curitiba, v. 18, n. 66, p. 1-13, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.55905/rdelosv18.n66-054>. Acesso em: 4 jun. 2025.

SOUZA, D. B. A prática da experimentação no ensino de Ciências: entre a teoria e a ação pedagógica. *Ciência & Educação*, v. 14, n. 2, p. 345–358, 2008.

SOUZA, P. F. de. Estudo da remoção de óleos e graxas em efluentes de petróleo utilizando bagaço da cana. In: **SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL (SEPA)**, 2008, Bahia. *Anais [...]*. Bahia: [s.n.], 2008.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Method 1664, Revision A: n-Hexane Extractable Material (HEM) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM) by Extraction and Gravimetry*. EPA-821-R-98-002. Washington, DC, 1998.

WEINER, E. R. *Applications of environmental chemistry: a practical guide for environmental professionals*. Boca Raton: Lewis Publishers, 2000. Disponível em: <https://www.amazon.com/Applications-Environmental-Chemistry-Practical-Professionals/dp/1566703549>. Acesso em: 30 jun. 2025.

ANEXO

Questionário de Avaliação – Atividade sobre parâmetros de qualidade água Percepção dos estudantes sobre a efetividade da integração entre teoria e prática

Instruções: Leia atentamente cada afirmativa abaixo e marque a alternativa que melhor representa sua opinião sobre a atividade realizada. Use a seguinte escala:

(1) Concordo totalmente; (2) Concordo; (3) Indeciso; (4) Discordo; (5) Discordo totalmente

Nº	Afirmativa	1	2	3	4	5
1	A atividade despertou meu interesse em entender como ocorre a contaminação da água por óleos e graxas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Mesmo com a aplicação parcial da metodologia, consegui compreender os principais conceitos envolvidos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	A aula mostrou como a Química pode ser usada para resolver problemas ambientais reais.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Fiquei curioso para aprender mais sobre os métodos de análise de água utilizados em laboratórios ambientais.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	A combinação entre aula teórica e prática facilitou minha aprendizagem.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	O experimento, mesmo sendo adaptado, ajudou a entender o papel da Química na preservação ambiental.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	O tema abordado é relevante para minha formação como cidadão consciente sobre questões ambientais.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	A explicação do funcionamento da metodologia de análise foi clara e compreensível.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Gostaria de participar de mais aulas práticas como essa, mesmo com recursos limitados.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	O professor soube conduzir bem a atividade, mesmo com as limitações da estrutura escolar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>