



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA EM REDE NACIONAL

CLEITON LUIZ DA SILVA SOUZA

**A importância da experimentação no ensino de química: abordando a temática
poluição das águas do rio Capibaribe no ensino fundamental II**

RECIFE

2025

CLEITON LUIZ DA SILVA SOUZA

**A importância da experimentação no ensino de química: abordando a temática
poluição das águas do rio Capibaribe no ensino fundamental II**

Pesquisa apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) para obtenção do título de mestre em Química.

Orientando: Cleiton Luiz da Silva Souza

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Flávia Christiane Guinhos de Menezes Barreto Silva

RECIFE

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

S729i Souza, Cleiton Luiz da Silva.
A importância da experimentação no ensino de química : abordando a temática poluição das águas do Rio Capibaribe no ensino fundamental II / Cleiton Luiz da Silva Souza.- Recife, 2025.
70 f.: il.

Orientador(a): Flávia Christiane Guinchos de Menezes Barreto Silva.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Química em rede Nacional (PROFQUI), Recife, BR-PE, 2025.
Inclui referências e apêndice(s).

1. Química - Experimentos. 2. Água – Poluição. 3. Resíduos sólidos. 4. Química – Estudo e ensino 2. Química (Ensino fundamental). I. Silva, Flávia Christiane Guinchos de Menezes Barreto, orient. II. Título

CDD 540

**A importância da experimentação no ensino de química: abordando a temática
poluição das águas do rio Capibaribe no ensino fundamental II**

Pesquisa apresentada à Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências do Programa de Pós- Graduação Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI) para obtenção do título de mestre em Química.

Em: 24/07/2025.

COMISSÃO AVALIADORA

Prof^a. Dr^a. Flávia Christiane Guinhos de Menezes Barreto Silva (Orientadora)

Prof^a. Dr^a. Suely Alves da Silva (Membro Externo)

Prof^a. Dr^a. Kátia Cristina Silva de Freitas (Membro Interno)

Dedico este trabalho a vocês que sempre me fizeram acreditar na realização dos meus sonhos e trabalharam muito para que eu pudesse realizá-los, meus pais José e Albanita.

A você Grace Kelly, companheira no amor na vida e nos sonhos, que sempre me apoiou nas horas difíceis e compartilhou comigo as alegrias.

Aos meus filhos Maria Eduarda e Luiz Otávio em que sirvo de espelho para os dois e completam minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por sempre ter me dado forças e tolerância para trilhar meu caminho superando os obstáculos.

Agradeço a minha família, Albanita (mãe), José Luiz (pai), Grace Kelly (esposa) e Maria Eduarda (filha), Luiz Otávio (filho), Cleison e Claudiane (irmãos), os quais sempre me apoiaram em todas as minhas decisões, pelo exemplo que eles me passaram de coragem e perseverança, a eles sempre serei grato pela minha vida.

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram ao meu lado em tantos momentos. Sejam os que conviveram comigo desde o início do curso até os que pude conhecer já no final. Amo todos vocês! Quero agradecer em especial a José Otávio, Gilton Lyra, Miqueias Soares, Leonardo Lyra, Dione Lyra, Andrea, Manoelle Valeriano, Teka, Viviane Piasson e todos os amigos do Colégio e Curso Núcleo por todo companheirismo.

Agradeço também a minha querida orientadora e amiga Profa. Dra. Flávia Christiane Guinhos de Menezes Barreto Silva por toda paciência e dedicação exclusiva nas orientações e por não desistir de mim. A todos os professores do PROFQUI que trocaram suas valiosas ideias e experiências, sempre motivando e direcionando a todas as pesquisas, palestras e congressos, aulas de campo e seminários que pude participar durante meu percurso.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), ao curso de Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI), responsável pelo desenvolvimento da minha formação, sendo vital essa estrutura no processo.

“Se a educação sozinha não transforma o mundo,
sem ela nenhuma transformação acontecerá.”
(Paulo Freire)

RESUMO

O uso da experimentação no ensino tem se mostrado uma abordagem eficaz para trabalhar tanto conceitos químicos fundamentais quanto questões ambientais relevantes para a comunidade local. Nesse sentido, a experimentação busca posicionar o estudante como protagonista na construção do próprio conhecimento. De fato, isso é alcançado por meio da criação de soluções para problemas reais do seu cotidiano. Assim, neste estudo, foram realizados experimentos de química focados na poluição da água do rio Capibaribe. A crescente relevância das questões de poluição fluvial na sociedade atual exige abordagens de ensino e aprendizagem que envolvam o estudante de forma crítica e reflexiva na assimilação de conteúdos de ciências naturais e da química. A metodologia foi aplicada a estudantes do 9º ano do ensino fundamental II de uma escola pública municipal de tempo integral no Recife, localizada no bairro da Várzea, próximo ao rio Capibaribe. As questões voltadas a poluição de rios são cada vez mais frequentes na sociedade atual, o que faz ser necessário a promoção de abordagens de ensino e aprendizagem capazes de envolver o estudante de uma maneira ativa e participativa na construção de conhecimentos científicos aplicados ao seu contexto socioambiental. Foram realizadas a análise físico-química e biológica da água coletada no rio: pH, turbidez, teste de cloretos, presença de coliformes fecais, coliformes totais e coliformes termotolerantes. Foi realizada a coleta do lixo no rio e proposta uma coleta seletiva na escola e através das discussões dos resultados e análise do questionário final e de autoavaliação foi possível perceber a promoção de autonomia nas atividades experimentais, reflexão, criticidade, criatividade, investigação, e aprendizagem dos conteúdos da Química. Um produto educacional foi obtido a partir das ações e resultados dos conhecimentos construídos durante a pesquisa, serve como recurso didático para outros professores que desejem trabalhar a experimentação no ensino de química nesta temática ambiental e também como um material informativo e social, não só para os estudantes da escola, mas também para a coletividade, principalmente para a população ribeirinha; e possa atingir um público mais amplo visando a educação ambiental.

Palavras-chaves: Experimentação, Poluição das Águas, Resíduos Sólidos, Ensino Fundamental II, Ensino de Química.

ABSTRACT

The use of experimentation in teaching has proven to be an effective approach for addressing both fundamental chemical concepts and environmental issues relevant to the local community. In this sense, experimentation seeks to position students as protagonists in the construction of their own knowledge. Indeed, this is achieved by creating solutions to real-life problems in their daily lives. Thus, in this study, chemistry experiments focused on water pollution in the Capibaribe River were conducted. The growing relevance of river pollution issues in today's society demands teaching and learning approaches that engage students critically and reflectively in the assimilation of natural science and chemistry content. The methodology was applied to 9th-grade students at a full-time municipal public school in Recife, located in the Várzea neighborhood, near the Capibaribe River. Issues related to river pollution are increasingly common in today's society, necessitating the promotion of teaching and learning approaches capable of actively and participatively engaging students in the construction of scientific knowledge applied to their socio-environmental context. Physical, chemical, and biological analyses of the water collected from the river were performed: pH, turbidity, chloride testing, and the presence of fecal coliforms, total coliforms, and thermotolerant coliforms. Garbage was collected from the river, and selective collection at the school was proposed. Through discussion of the results and analysis of the final questionnaire and self-assessment, it was possible to observe the promotion of autonomy in experimental activities, reflection, critical thinking, creativity, inquiry, and learning of chemistry content. An educational product was obtained from the actions and results of the knowledge acquired during the research. It serves as a teaching resource for other teachers who wish to incorporate experimentation into chemistry teaching within this environmental theme, as well as informative and social material, not only for the school's students but also for the community, especially the riverside population, and can reach a wider audience for environmental education.

Keywords: Experimentation, Water Pollution, Solid Waste, Elementary School II, Chemistry Teaching.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais

UNESCO - Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura

EA – Educação Ambiental

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

pH – Potencial hidrogeniônico

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

THM – Trialometanos

ANA – Agência Nacional de Águas

DQO – Demanda Química de Oxigênio

POP – Autores Pontuais de Compostos Orgânicos Persistentes

AAS – Espectrometria de Absorção

PIBID - Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência

ZPD – Zona de Desenvolvimento Proximal

INEP – Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

SPD – Subproduto da Desinfecção

LISTA DE QUADROS

- Quadro 01 Métodos de Tratamento de Dureza da Água
- Quadro 02 Aplicação de DQO
- Quadro 03 Fatores que influenciam na DQO
- Quadro 04 Condições de Teste na DQO
- Quadro 05 As consequências da eutrofização
- Quadro 06 Controle da eutrofilização
- Quadro 07 Impactos dos metais pesados na saúde humana e ecossistemas
- Quadro 08 Medidas de mitigação dos impactos da contaminação por metais pesados nos ecossistemas
- Quadro 09 Autores pontuais de contaminação por compostos orgânicos persistentes
- Quadro 10 Impacto dos compostos orgânicos nos sistemas aquáticos
- Quadro 11 Determinação da concentração de ácidos e bases e algumas aplicações
- Quadro 12 Propriedades térmicas da água e suas diversas implicações
- Quadro 13 Capilaridade e suas aplicações
- Quadro 14 Os fatores que influenciam a tensão superficial e a capilaridade
- Quadro 15 Detalhamento das aplicações da tensão superficial e a capilaridade
- Quadro 16 Essencialidade da água
- Quadro 17 Papel da água nas reações bioquímicas
- Quadro 18 Regulação térmica e transporte de substâncias
- Quadro 19 Propriedades biológicas da água
- Quadro 20 Fatores que influenciam na presença de microrganismos na água
- Quadro 21 Visão geral coliformes totais e *Escherichia coli*
- Quadro 22 Vantagens e limitações dos indicadores de coliformes totais e *Escherichia coli*
- Quadro 23 Impactos causados por micro e nanoplásticos nos ambientes aquáticos
- Quadro 24 Medidas Mitigadoras de poluição por plásti

- Quadro 25 Etapas de Aprendizagem Baseada na Experimentação com Contextualização Sócio Cultural
- Quadro 26 Aplicações da destilação simples
- Quadro 27 Vantagens e Limitações do Método de Destilação Simples
- Quadro 28 Benefícios e Desafios da Coleta Seletiva para os rios
- Quadro 29 Legislação da Água no Brasil
- Quadro 30 Etapas da Sequência Didática
- Quadro 31 Questionário de Sondagem
- Quadro 32 Experimentos Direcionados pelo Professor

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 Resultados da Autoavaliação dos Questionários Diagnóstico

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 01 Destilação Simples
- FIGURA 02 Rio Capibaribe poluído por plásticos
- FIGURA 03 Indicadores georreferenciado de qualidade da água
- FIGURA 04 Foto panorâmica do Recife
- FIGURA 05 Imagens da tragédia no Recife em maio de 2022
- FIGURA 06 Discussão dos temas em um dos grupos
- FIGURA 07 Procedimento do teste de coliformes fecais
- FIGURA 08 Teste de coliformes fecais com adição do reagente indicador
- FIGURA 09 Teste de coliformes fecais após 48 horas de adição do reagente à amostra
- FIGURA 10 Resultado e análise do teste de coliformes fecais
- FIGURA 11 Resultado do teste de pH e cloro
- FIGURA 12 Materiais alternativos para a experiência de filtração simples
- FIGURA 13 Realização da experiência de filtração simples
- FIGURA 14 Realização da experiência de destilação simples
- FIGURA 15 Vista do trecho do Rio Capibaribe em proximidades da escola
- FIGURA 16 Materiais coletados em proximidades da escola e do Rio Capibaribe
- FIGURA 17 Proposta de descarte de coleta seletiva dos materiais retirados em proximidades da escola e do Rio Capibaribe

LISTA DE GRÁFICOS

- GRÁFICO 01 Primeira Questão
- GRÁFICO 02 Segunda Questão
- GRÁFICO 03 Terceira Questão
- GRÁFICO 04 Quarta Questão
- GRÁFICO 05 Quinta Questão

Sumário

1 INTRODUÇÃO.....	17
2 OBJETIVOS.....	19
2.1 OBJETIVO GERAL.....	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 O ENSINO DE QUÍMICA	20
3.2 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA.....	23
3.3 EXPERIMENTAÇÃO E A ESCOLA.....	33
3. 4 A EXPERIMENTAÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE UMA EDUCAÇÃO AMBIENTAL (EA)	36
3.5 A ÁGUA PARA O CONSUMO.....	38
3.5.1 Parâmetros da Água.....	39
3.5.2 Relação entre os parâmetros.....	41
3.5.3 Propriedades Químicas da Água	41
3.5.4 A importância das propriedades químicas da água.....	66
3.6 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DA ÁGUA.....	69
3.6.1 Propriedades Microbiológicas da Água	70
3.7 POLÍMEROS E A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS.....	74
3.8 DESTILAÇÃO SIMPLES DA ÁGUA.....	78
3.9 A COLETA SELETIVA COMO FERRAMENTA NA LUTA CONTRA A POLUIÇÃO DOS RIOS.....	81
3.9.1 Coleta Seletiva	82
3.10 TRATAMENTO DA ÁGUA.....	83
3.11 LEGISLAÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL.....	84
4 METODOLOGIA.....	85
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	85

4.2 CONTEXTO DA PESQUISA.....	86
4.3 PARTICIPANTES DA PESQUISA.....	86
4.4 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	87
4.5 INSTRUMENTOS DE PRODUÇÃO DE DADOS	89
4.5.1 Primeira Etapa - Sondagem Diagnóstica e Apresentação do tema - despertar o interesse dos estudantes	89
4.5.2 Segunda Etapa - Divisão dos estudantes em grupos para elaboração do projeto	91
4.5.3.Terceira Etapa - Visita ao rio Capibaribe próximo à escola.....	91
4.5.4 Quarta Etapa – Momento para Reflexão e Discussão	91
4.5.5 Quinta Etapa - Orientação estruturada com metas específicas, atribuições de cada componente da equipe e o prazo, delineado pelo professor (pesquisador)	91
4.5.6 Sexta Etapa - Realização de pesquisa teórica e seleção dos experimentos.....	91
4.5.7 Sétima Etapa - Aprofundamento da temática e do conteúdo	92
4.5.8 Oitava Etapa - Realização dos Experimentos de Química e discussão dos resultados	92
4.5.9 Nona Etapa – Questionário final de avaliação e autoavaliação	92
4.5.10 Décima Etapa - Compilação dos resultados da pesquisa para obtenção do trabalho final e o Produto Educacional (PE) (e-book)	92
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	92
5.1 PRIMEIRA ETAPA - SONDAÇÃO DIAGNÓSTICA E APRESENTAÇÃO DO TEMA - DESPERTAR O INTERESSE DOS ESTUDANTES.....	92
Sondagem Diagnóstica	92
Apresentação do tema	98
5.2 SEGUNDA ETAPA - DIVISÃO DOS ESTUDANTES EM GRUPOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO	100
5.3 TERCEIRA ETAPA - VISITA AO RIO CAPIBARIBE PRÓXIMO À ESCOLA .	101
5.4 QUARTA ETAPA – MOMENTO PARA REFLEXÃO E DISCUSSÃO EM GRUPO	102
5.5 QUINTA ETAPA - ORIENTAÇÃO ESTRUTURADA, COM METAS ESPECÍFICAS, ATRIBUIÇÕES DE CADA COMPONENTE DA EQUIPE E O PRAZO, DELINEADO PELO PROFESSOR (PESQUISADOR).....	103
5.6 SEXTA ETAPA - REALIZAÇÃO DE PESQUISA TEÓRICA E SELEÇÃO DOS EXPERIMENTOS	105

5.7 SÉTIMA ETAPA - APROFUNDAMENTO DA TEMÁTICA E DOS CONTEÚDOS	.....	106
5.8 OITAVA ETAPA - REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE QUÍMICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS	.....	107
5.9 NONA ETAPA – QUESTIONÁRIO FINAL DE AVALIAÇÃO E AUTOAVALIAÇÃO	.....	117
6. CONCLUSÃO	.....	121
7 REFERÊNCIAS	.....	123
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE SONDAÇÃO	.....	135
APÊNDICE B - PANFLETO (FRENTE E VERSO)	.....	136
APÊNDICE C - PRODUTO EDUCACIONAL	.....	137

1 INTRODUÇÃO

A Química, que está presente no nosso dia a dia, ajuda a entender melhor o mundo que nos cerca. É uma ciência que se conecta com outras áreas do conhecimento para explicar as transformações que acontecem na natureza e na sociedade.

A compreensão dos processos químicos contribui para a formação de uma sociedade mais consciente, reflexiva e corresponsável quanto as questões científicas e socioambientais.

É na escola que se inicia a aproximação com as ciências e o reconhecimento da sua importância na busca de soluções para os problemas mundiais. A complexidade desses desafios exige um novo olhar sobre a prática pedagógica, que valorize o diálogo, a contextualização e a interdisciplinaridade. Uma abordagem integrada torna possível compreender de forma mais ampla o papel do desenvolvimento científico e tecnológico na sociedade (Brasil, 2002; 2006).

O ensino de Ciências ainda enfrenta desafios significativos no processo de ensino-aprendizagem visto que frequentemente, o conhecimento científico é tratado como mera reprodução dos conteúdos transmitidos em sala de aula - sem espaço para uma construção ativa e significativa (Sasseron; Carvalho, 2021), como consequência, os estudantes apresentam dificuldades em compreender e aplicar conceitos teóricos, especialmente na articulação entre teoria e realidade (Viecheneski; Carletto, 2022). Nesse modelo de ensino passivo, os estudantes assumem um papel receptivo, sem questionamento crítico sobre a relevância do conhecimento adquirido (Libâneo, 2021). Essa "educação bancária" limita o desenvolvimento de habilidades, tais como, o pensamento científico, a análise crítica e a resolução de problemas contextualizados Freire (2019).

A escola deve adotar práticas pedagógicas que estimulem o pensamento crítico e a participação ativa na sociedade. No entanto, na realidade escolar, ainda predominam ações isoladas e desvinculadas do cotidiano dos estudantes.

É neste sentido as atividades experimentais (aulas práticas) tem sido uma alternativa didática eficiente para o processo ensino-aprendizagem, podendo auxiliar na construção e compreensão de conceitos de uma maneira prática. As atividades experimentais devem contribuir para a compreensão de conceitos químicos, pelo manuseio e transformações de substâncias, quanto para explicar os fenômenos

ocorridos.

É essencial que os docentes elaborem um planejamento para o ensino de Química que integre o debate e a formação de conceitos científicos com a realidade vivida pelos estudantes e refletidos mediante problematizações.

As abordagens didático-pedagógicas devem envolver estratégias que tornem o estudante um participante ativo em sua própria aprendizagem, promovendo o engajamento e desenvolvendo a reflexão, a criticidade e a compreensão humanizada das questões abordadas em sala de aula.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN, 2002) orientam que os temas ambientais sejam abordados de forma interdisciplinar, integrando diferentes áreas do conhecimento para promover mudanças sociais, ambientais e econômicas.

A questão ambiental é um dos temas transversais necessários à formação da cidadania, a participação e tomada de decisões de estudantes sobre os problemas ambientais atuais que afetam drasticamente a vida em nosso planeta. A fragmentação curricular e as limitações na prática docente são apontadas como obstáculos à efetivação de um ensino de Ciências articulado à educação ambiental.

A utilização dos experimentos de Química tem se mostrado uma estratégia pedagógica eficaz para a compreensão de temas complexos e de grande importância socioambiental, como a poluição das águas pelos resíduos sólidos, por exemplo.

Diante do exposto, surge uma pergunta norteadora para esse projeto de pesquisa:

Como a experimentação pode contribuir no ensino de química abordando a temática poluição das águas do rio Capibaribe no ensino fundamental II?

Este trabalho será aplicado em uma turma 9º ano do ensino fundamental II de uma escola pública de tempo integral, localizada próxima às margens do rio Capibaribe, que sentiu os efeitos da poluição do rio numa cheia em 2022. Pretende-se utilizar experimentos no processo de ensino para compreender os assuntos teóricos da química, biologia, ambiental, poluição das águas dos rios e os processos socioambientais envolvidos.

Para a construção teórica deste trabalho foram levantados artigos acadêmicos no ensino de química, educação ambiental e poluição das águas do Rio Capibaribe.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar como a experimentação no ensino de química pode contribuir no processo de ensino-aprendizagem de alguns conceitos de química, biologia e educação ambiental envolvendo a temática poluição das águas do rio Capibaribe.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar o potencial da utilização da experimentação no ensino de química numa intervenção didática relacionada as questões socioambientais sobre a poluição do rio Capibaribe;
- Identificar as concepções prévias de estudantes do ensino fundamental II sobre a poluição das águas do rio Capibaribe;
- Analisar a aplicação da proposta de intervenção didática a partir dos resultados e observações dos experimentos;
- Desenvolver um produto educacional baseado nos resultados obtido na abordagem da pesquisa.

Para que os objetivos específicos propostos possam ser alcançados, desde a investigação das concepções prévias dos estudantes até o desenvolvimento de um produto educacional, faz-se necessária uma fundamentação teórica robusta. O item a seguir se dedica a explorar os conceitos que alicerçam esta pesquisa, articulando as bases do ensino de Química, o potencial da aprendizagem via experimentação e os fundamentos científicos relacionados à problemática socioambiental da poluição do Rio Capibaribe.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A Química é considerada uma ciência experimental, que explica a dinâmica de processos, reações e suas energias envolvidas - fornecendo conhecimento e informações para explicar fenômenos em outras áreas das ciências. Explica os processos macroscópicos em termos de estrutura molecular da matéria (Shwartz, Ben- Zvi e Hofstein 2006).

Como afirma Johnstone (1991) a química trabalha com abstrações, modelos,

teorias, conceitos e cálculos, sendo considerada uma disciplina de difícil compreensão e confusa.

Essa problemática encontra eco nas pesquisas de Gilbert (2006), uma necessidade de contextualização do ensino químico para promover aprendizagens significativas.

Experimentos aplicáveis em situações reais de uma comunidade no ensino de química cria oportunidades únicas para os estudantes construírem os conhecimentos científicos de maneira dinâmica desenvolvendo o raciocínio científico, a partir da observação, formulação de hipóteses e a análise crítica de dados - atingindo um dos objetivos do ensino de Ciências da Natureza.

Pela experimentação conceitos abstratos nas Ciências podem ser aprendidos e transformados; quando bem planejadas, facilitam a compreensão de conceitos complexos, promovem o desenvolvimento de habilidades científicas e estimulam a conexão entre conhecimento científico e tomada de decisão. A utilização de experimentos de fácil realização é eficaz para tornar a disciplina de química mais atrativa e significativa para os estudantes, proporcionando uma aprendizagem mais ativa, participativa e contextualizada, contribuindo para a formação de cidadãos críticos, com sólidos conhecimentos em química e habilidades científicas, Hofstein e Lunetta (2004).

3.1 O ENSINO DE QUÍMICA

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) para o ensino fundamental é uma coleção de documentos visando construir uma referência curricular nacional, para garantir que todo estudante do país possa ter acesso aos conhecimentos indispensáveis para a construção de sua cidadania. Em sua abordagem, os parâmetros curriculares nacionais se caracterizam por ampliar a visão de conteúdo para além dos conceitos a partir da “inserção de procedimentos, atitudes e valores como conhecimentos tão relevantes quanto os conceitos tradicionalmente abordados.” Os conteúdos devem encaminhar os estudantes rumo à aprendizagem apoiados pelas práticas docentes onde o sentido e o significado da aprendizagem precisam estar evidenciados durante toda a escolaridade afim de estimular nos estudantes o compromisso e a responsabilidade com a própria aprendizagem. No capítulo das Ciências da Natureza, do PCN⁺ 2000

(<https://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/pcn/blegais.pdf>), destaca-se que, no ensino de Química:

[...] Não se procura uma ligação artificial entre o conhecimento químico e o cotidiano, restringindo-se a exemplos apresentados apenas como ilustração ao final de algum conteúdo; ao contrário, o que se propõe é partir de situações problemáticas reais e buscar o conhecimento necessário para entendê-las e procurar solucioná-las. Enfatiza-se, mais uma vez, que a simples transmissão de informações não é suficiente para que os estudantes elaborem suas idéias de forma significativa. É imprescindível que o processo de ensino-aprendizagem decorra de atividades que contribuam para que o estudante possa construir e utilizar o conhecimento. (PCN+, 2000).

A disciplina de Química está presente nos componentes curriculares nas ciências da natureza no ensino fundamental II (9º ano) e está presente no Ensino Médio. Conforme aponta Silva (2020), a relevância do ensino-aprendizagem dessa ciência na formação da cidadania reside em sua capacidade de explicar fenômenos cotidianos e estabelecer conexões entre diferentes áreas do conhecimento.

O processo de ensino e aprendizagem dos conteúdos de química pelos estudantes, encontra algumas dificuldades devido: ausência de base matemática, complexidade dos conteúdos, metodologia dos professores, déficit de atenção e dificuldades de interpretação (Santos *et al.* 2013). Essas limitações encontradas pelos estudantes acabam gerando um desinteresse pelas aulas da disciplina, por isso é importante que sejam utilizadas estratégias didático-pedagógicas que estimulem a curiosidade, a criatividade, o engajamento e a tomada de decisões dos estudantes, despertando sua sensibilidade para a invenção, criação, de modo a fazê-los compreender (Bolfer, 2008).

Apesar de muitos trabalhos desenvolvidos mostrarem a importância do protagonismo do estudante no processo de ensino e aprendizagem, na prática os conteúdos são expostos pelo professor; este modelo é pautado no reforço e na memorização, também na reprodução de conteúdo e confirmação de teorias, Mizukami (1986).

As informações são simplesmente passadas dos professores para os estudantes, na sala de aula, e nem sempre resulta em aprendizado efetivo. Os estudantes são ouvintes e, muitas vezes, acabam memorizando os conhecimentos por um prazo curto. Os conteúdos trabalhados em sala de aula, quando memorizados não constituem uma aprendizagem significativa e não contribui para o

desenvolvimento de pessoas críticas e reflexivas, atuantes na sociedade como cidadãos questionadores - educação cidadã.

Embora a motivação continue sendo dos estudantes, a desmotivação nas aulas não é somente de responsabilidade deles, mas também do resultado da educação que recebem relacionados às práticas de ensino, ao sistema educacional e aos modelos de ensino educacional brasileiro (Pozo; Crespo, 2009).

[...] os estudantes não aprendem porque não estão motivados, mas, por sua vez, não estão motivados porque não aprendem". Pozo e Crespo (2009 p. 40).

Espaços motivadores podem ser alcançados para ajudar o processo de ensino e aprendizagem pela prática pedagógica, em suas abordagens e estratégias; mas não é uma tarefa fácil, uma vez envolve múltiplos fatores.

O professor deve reconhecer as possibilidades de associação do conteúdo com contextos locais para que haja significado imediato daquilo que ele vê em sala de aula.

O ensinar é uma prática social, uma ação cultural, pois se concretiza na interação entre professores e estudantes, refletindo a cultura e os contextos sociais a que pertence, Freire (1996).

Souza (2010) afirma que o objetivo do ensino é garantir o espaço e os meios para viabilizar as aprendizagens e oportunizar momentos de reflexão e construção do conhecimento para que de fato haja uma aprendizagem de significados para os estudantes envolvidos no processo.

De acordo com Lima (2008), ensinar é orientar e guiar os estudantes, tendo como base a experiência própria deles; dessa maneira não tão simples, principalmente quando se refere às disciplinas de exatas como Química, Física e Matemática. Estas disciplinas, por sua complexidade, exige um maior esforço de concentração tanto para o entendimento, quanto para resoluções de questões. Contudo, na maioria das vezes, o problema não está em o que é estudado em sala de aula, mas como está sendo abordado determinado conteúdo.

A fim de auxiliá-lo no processo de ensino e aprendizagem é extremamente importante o professor utilizar diversas estratégias didáticas de ensino.

[...] a palavra "estratégia" possui estreita ligação com o ensino. Ensinar requer arte por parte do docente, que precisa envolver o estudante e fazer com que ele se encante com o saber. O professor precisa promover a curiosidade, a segurança e a criatividade para que o principal objetivo educacional, a aprendizagem do estudante, seja alcançada (Petruci; Batiston, 2006).

Considerando que o envolvimento do estudante pela matéria está associado ao encantamento por esse saber, acreditamos que a experimentação no ensino de química, quando associada aos contextos sociais a que esses estudantes pertencem, se configura como a principal via para alcançar tal objetivo. A citação de Petrucci e Batiston (2006) reforça essa visão ao tratar o ato de ensinar não como uma mera transferência de informações, mas como uma arte que exige estratégia. Esse "encantamento" pelo conhecimento, mencionado pelos autores, surge quando o estudante percebe que a Química não é um conjunto de conceitos abstratos, mas uma ferramenta poderosa para compreender e atuar sobre o mundo ao seu redor.

3.2 A EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA

O ensino de Química, ao longo das últimas décadas, tem enfrentado desafios significativos quanto à sua efetividade na promoção da aprendizagem e desinteresse por parte dos estudantes. Pesquisas como as de Silva e Bottechia (2017) evidenciam que essa situação está intimamente relacionada à abordagem tradicional, descontextualizada da realidade dos estudantes.;

A experimentação surge como uma estratégia pedagógica capaz de romper com a lógica da transmissão mecânica de conhecimentos, capaz de transformar o ensino da disciplina promovendo aprendizagem significativa através da experimentação envolvendo problemas reais pela experimentação os estudantes têm a oportunidade de interagir e observar os fenômenos, manipular materiais com o objetivo de investigar, comprovar ou ilustrar conceitos científicos e significados.

No ensino de Química, ela representa uma das formas mais eficazes de contextualizar o conhecimento, promover o pensamento crítico e despertar o interesse dos estudantes pelas ciências naturais (Santos; Menezes, 2020).

Ao promover situações que articulam teoria e prática, o professor pode facilitar a ancoragem de novos conceitos nos conhecimentos prévios dos estudantes, tornando-os mais compreensíveis e aplicáveis (Souza, 2011).

Segundo Bastos da Silva *et al.* (2024), a experimentação não apenas favorece a compreensão dos conceitos, mas também contribui para o desenvolvimento de competências investigativas, comunicativas e colaborativas. Esse tipo de aprendizagem ativa é central para a formação de sujeitos críticos, capazes de aplicar o conhecimento em diferentes contextos.

Como destacam Hofstein e Lunetta (2004), o laboratório de ciências deve ser o coração do processo educativo, onde os estudantes podem vivenciar três abordagens experimentais complementares:

- Experimentação demonstrativa que serve como ponte inicial entre a teoria e a prática, permitindo aos estudantes observarem fenômenos químicos fundamentais, Johnstone (1991).
- Experimentação investigativa que é um meio privilegiado para o desenvolvimento do pensamento científico, onde os estudantes formulam hipóteses, planejam procedimentos e analisam resultados, Maldaner e Zanon (2021).
- Experimentação de verificação onde a aplicação das leis químicas é discutidas na prática, consolidando o conhecimento adquirido, Hofstein e Mamlok-Naaman (2007). Millar (2010) argumenta que "a verdadeira aprendizagem em química ocorre quando os estudantes são desafiados a resolver problemas reais através da experimentação, indo além da mera confirmação de teorias". Neste contexto, a experimentação investigativa se mostra particularmente eficaz, pois, como demonstra Bybee (2006), engaja os estudantes em processos cognitivos complexos, desde a formulação de questões até a interpretação crítica de dados.

A efetividade destas estratégias experimentais é amplificada quando combinada com outros recursos didáticos. Justi (2006) demonstra como modelos concretos e representações visuais podem tornar acessíveis conceitos moleculares abstratos, complementando as atividades práticas. Paralelamente, Sasseron (2013) comprova que sequências didáticas bem estruturadas, com experimentação como eixo central, promovem não apenas o aprendizado conceitual, mas também o desenvolvimento de habilidades científicas essenciais.

Conforme Allchin, 2011 (p. 524) o sucesso destas abordagens depende crucialmente de como a experimentação é contextualizada. "Atividades práticas desconectadas de problemas reais perdem seu potencial educativo, tornando-se meros rituais escolares".

Hofstein (2017), afirma que a experimentação bem conduzida não apenas facilita a compreensão conceitual, mas também desenvolve nos estudantes as competências necessárias para atuar como cidadãos cientificamente alfabetizados em uma sociedade cada vez mais dependente do conhecimento químico.

Maldaner e Zanon (2021) enfatizam a necessidade de vincular as atividades

laboratoriais a questões ambientais e sociais relevantes para os estudantes.

A integração destas diferentes estratégias experimentais, quando adequadamente planejada e implementada, oferece um caminho poderoso para superar os desafios tradicionais do ensino de Química.

Apesar de sua reconhecida relevância, a experimentação ainda encontra barreiras estruturais, pedagógicas e epistemológicas para sua implementação eficaz nas salas de aula. Além disso, muitas vezes, é reduzida a uma atividade protocolar, repetitiva e desvinculada de objetivos formativos claros. Por essa razão, é fundamental refletir sobre o papel da experimentação à luz de teorias educacionais que valorizam a aprendizagem ativa e significativa. A aprendizagem significativa, diferente da aprendizagem mecânica que é baseada na memorização, envolve compreensão, organização e retenção duradoura dos conteúdos (Moreira, 2011). A aprendizagem ocorre de forma mais eficaz quando o novo conteúdo pode ser relacionado, de maneira não arbitrária e substantiva, a conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, como propõe David Ausubel (apud Souza, 2011).

Segundo Moreira (2006), dois requisitos são essenciais para que haja aprendizagem significativa: (a) o conteúdo deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve possuir lógica interna e ser relacionado à estrutura cognitiva do estudante (conhecimento prévio); (b) o estudante deve manifestar uma disposição para aprender significativamente. A interação entre esses dois elementos resulta em mudanças qualitativas na estrutura mental do sujeito.

É grande e diversificado o corpo teórico que valoriza a experimentação no ensino de Química porque a experimentação tem se apresentado como uma atividade motivadora, porém ainda tem sido utilizada de forma limitada em muitas escolas; seja pela falta de infraestrutura adequada ou pela ausência de formação específica dos docentes, Santos e Menezes (2020). Outros fatores são citados, como o número excessivo de estudantes por turma, a carga horária reduzida e o receio dos professores em realizar atividades práticas, Bassoli (2014) e Pereira (2010).

Souza (2011) investigou o uso da experimentação por professores formadores do curso de Licenciatura em Química da UNEB, categorizando a experimentação em três funções: diagnóstica, facilitadora da assimilação e consolidadora. Na função diagnóstica, os professores buscavam identificar conhecimentos prévios e possíveis concepções alternativas dos estudantes, utilizando experimentos simples como ponto

de partida para discussões. Na função facilitadora, a experimentação era inserida no momento de introdução ou desenvolvimento de novos conceitos, servindo como âncora para a construção do conhecimento. E, por fim, na função consolidadora, os experimentos eram utilizados para reforçar e aplicar os conteúdos já discutidos, ampliando sua compreensão e retenção.

O estudo de Silva, Idalino e Silva (2023), realizado com estudantes do ensino fundamental em uma escola municipal de Arapiraca (AL) consistiu em uma atividade experimental de visualização de bactérias da mucosa oral humana com auxílio do microscópio óptico; o objetivo era verificar a compreensão dos estudantes sobre microbiologia antes e depois da prática. Os estudantes demonstraram uma ampliação do conhecimento e um maior interesse pelo conteúdo, curiosidade científica e capacidade de articular teoria e prática.

No mesmo sentido, Bastos da Silva *et al.* (2024) apresentaram resultados de uma revisão integrativa sobre experimentação em Ciências e Matemática. A análise mostrou que a adoção sistemática de práticas experimentais favorece a contextualização dos conteúdos, o desenvolvimento de habilidades investigativas e o fortalecimento do trabalho em equipe. Além disso, foi constatado que a experimentação contribui para a superação da dicotomia teoria/prática, aproximando os estudantes da dinâmica real da ciência.

Além disso, estudos como o de Latini e Sousa (2011) apontam para a importância de incorporar temas contemporâneos e interdisciplinares às atividades experimentais, como a educação ambiental. Ao trabalharem conteúdos relacionados ao meio ambiente por meio da experimentação, os professores contribuem para a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de compreender e atuar diante dos desafios socioambientais.

Com base nesses estudos de caso, observa-se que a experimentação no ensino de Química, quando orientada por uma abordagem investigativa e significativa, tem o potencial de transformar a prática pedagógica, ampliando o engajamento dos estudantes e qualificando o processo de ensino-aprendizagem.

Esta metodologia encontra respaldo teórico nas contribuições de Dewey (1938), que defendia a aprendizagem como um processo ativo de interação com o ambiente, onde o conhecimento é construído através da experiência concreta e da resolução de problemas reais.

A abordagem investigativa, em especial, permite aos estudantes desenvolverem habilidades cognitivas essenciais ao método científico. Como demonstra Maldaner (2021), ao formular hipóteses, planejar procedimentos e analisar resultados, os estudantes constroem um conhecimento mais profundo e significativo dos conceitos químicos. Esta prática vai ao encontro do que propõe Sasseron (2013), ao defender que a experimentação autêntica deve desafiar as concepções prévias dos estudantes, levando- os a reestruturar seu entendimento sobre os fenômenos químicos.

A eficácia da experimentação no ensino de Química manifesta-se em três dimensões inter-relacionadas. Na dimensão cognitiva, facilita a compreensão de conceitos abstratos através da manipulação concreta de materiais. Na dimensão procedural, desenvolve habilidades investigativas essenciais para a prática científica. E na dimensão atitudinal, promove o engajamento dos estudantes e o desenvolvimento de uma postura crítica frente ao conhecimento.

Na prática docente se materializa através de experimentos (investigativos) que partem de problemas reais, sequências didáticas que integram teoria e prática, e atividades que estimulam a reflexão sobre os resultados obtidos. Esta abordagem mostra-se especialmente relevante no ensino de tópicos como reações químicas, propriedades da matéria, eletroquímica e cinética química, onde a observação e manipulação de fenômenos concretos se faz particularmente importante.

Os benefícios desta prática estendem-se além da aprendizagem conceitual, contribuindo para a formação de habilidades científicas essenciais e para o desenvolvimento de uma postura investigativa. Como destacam Hofstein e Mamlok-Naaman (2007), a experimentação bem planejada não apenas facilita a compreensão dos conteúdos químicos, mas também prepara os estudantes para atuarem como cidadãos cientificamente alfabetizados em uma sociedade cada vez mais dependente do conhecimento químico e tecnológico.

A teoria sociocultural desenvolvida por Lev Vygotsky (1934/2001) oferece fundamentos essenciais para que se possa compreender a eficácia da Experimentação no ensino de Química. Segundo esta perspectiva, o desenvolvimento cognitivo ocorre primordialmente através das interações sociais mediadas por instrumentos culturais, sendo a linguagem e os sistemas conceituais da ciência elementos fundamentais nesse processo.

Nas atividades experimentais em grupo, os estudantes negociam significados, compartilham hipóteses e discutem resultados, processos que exemplificam a construção colaborativa do conhecimento químico. Essas interações sociais durante a experimentação facilitam a internalização de conceitos abstratos, transformando o laboratório em um espaço privilegiado para o desenvolvimento cognitivo.

O papel do professor como mediador assume especial relevância nesta abordagem. Ao orientar os grupos durante as atividades práticas, o docente atua na zona de desenvolvimento proximal (ZDP), identificando e superando as dificuldades dos estudantes de forma personalizada. Por exemplo, durante uma experimentação sobre reações químicas, o professor pode formular questionamentos que levem os estudantes a estabelecerem relações entre suas observações empíricas e os conceitos teóricos estudados.

Os próprios instrumentos laboratoriais - como buretas, indicadores químicos ou espectrômetros - funcionam como ferramentas culturais que medeiam a aprendizagem. O uso coletivo desses recursos, associado à linguagem científica, permite que os estudantes desenvolvam gradualmente o pensamento químico formal a partir de suas interações concretas com os fenômenos estudados.

Pesquisas contemporâneas em educação científica têm demonstrado como experimentação fundamentada na perspectiva sociocultural pode:

- Facilitar a apropriação da linguagem científica específica da Química;
- Desenvolver habilidades de argumentação baseada em evidências experimentais;
- Promover a reflexão metacognitiva sobre os processos de aprendizagem;
- Estimular a transferência de conhecimentos para novas situações-problema.

Na prática docente, essa abordagem se concretiza quando:

- As atividades experimentais são planejadas para demandar colaboração efetiva;
- São criadas situações que estimulem o diálogo científico entre os estudantes;
- O professor atua como mediador experiente, ampliando a ZDP;
- São utilizados recursos linguísticos e materiais como ferramentas de mediação;
- São promovidos momentos de reflexão coletiva sobre os resultados.

Ao integrar os princípios “Vygotskyanos” com a experimentação em Química, a experimentação se revela não apenas como método de ensino de conceitos específicos, mas como abordagem formativa integral. Ela contribui para o desenvolvimento de estudantes como sujeitos sociais capazes de utilizar o conhecimento químico de forma crítica e reflexiva, preparados para atuar em um mundo cada vez mais marcado pelos avanços científicos e tecnológicos.

O uso de aulas experimentais pode se tornar um ensino empolgante e inovador, no qual os estudantes selecionam os assuntos de sua tarefa e são motivados por problema do mundo real que podem contribuir para sua comunidade. Segundo Dewey (1938), a educação não é a preparação para a vida; a educação é a própria vida. Essa abordagem, além de constituir uma das mais eficazes formas de envolver os estudantes com os conteúdos de aprendizagem, tem sido recomendada como uma das práticas educacionais mais promissoras.

A compreensão dos fundamentos científicos das abordagens pedagógicas é essencial para os docentes que buscam implementar metodologias ativas em sala de aula. Pesquisas robustas na área de educação em ciências, como as realizadas por Hofstein e Lunetta (2004), Millar (2010) e Bybee (2006), comprovam a eficácia da aprendizagem pela Experimentação como modelo pedagógico para o ensino de Química.

A aprendizagem ativa ganhou força nas décadas finais do século XX, mas foi particularmente impulsionada pelos avanços na compreensão dos processos de aprendizagem em ciências. Como demonstram Sasseron e Carvalho (2011), a experimentação investigativa proporciona um ambiente ideal para a construção do conhecimento químico, permitindo que os estudantes relacionem conceitos abstratos com fenômenos observáveis, desenvolvam habilidades procedimentais específicas da prática científica e construam uma compreensão mais profunda dos métodos de investigação.

O trabalho de Maldaner e Zanon (2021) destaca como situações-problema reais e questões investigativas para estruturar atividades experimentais que estimulem o pensamento crítico e criativo, promovam a colaboração entre os estudantes e desenvolvam a capacidade de resolução de problemas complexos.

A implementação bem-sucedida da experimentação, requer um planejamento cuidadoso nas sequências didáticas, recursos, materiais adequados, formação

docente específica e da avaliação processual e formativa. Allchin (2011) e Hodson (2014).

As atividades Experimentais, no ensino de Química, se mostram eficazes quando articulada com os conhecimentos prévios dos estudantes (Ausubel, 2000), contextualizada em problemas socioambientais relevantes (Santos, 2016) e integrada a outras áreas do conhecimento (Schnetzler, 2012).

Os desafios na avaliação da aprendizagem podem ser superados mediante a análise do processo investigativo, observação das habilidades desenvolvidas, avaliação dos produtos e a incorporação de estratégias de autoavaliação e avaliação pelos pares. Entre os principais benefícios da experimentação no ensino de Química, destacam-se:

- Desenvolvimento do pensamento científico: formulação de hipóteses, análise crítica de dados e argumentação baseada em evidências. (Hofstein & Mamlok-Naaman, 2007).
- Aquisição de habilidades procedimentais: manipulação de materiais e equipamentos, coleta e tratamento de dados e interpretação de resultados. (Millar, 2010).
- Formação de atitudes positivas como: a curiosidade científica, a persistência na resolução de problemas e trabalho colaborativo.

Portanto, a experimentação se consolida como uma abordagem pedagógica eficaz, alinhada às demandas contemporâneas do ensino de Ciências, promovendo não apenas a aprendizagem conceitual, mas também o desenvolvimento de competências e atitudes essenciais para a formação de cidadãos críticos e cientificamente alfabetizados.

Ao participar de um experimento investigativo, o estudante se torna um investigador ativo, construindo seu próprio conhecimento a partir de experiências práticas e vivências. Essa abordagem rompe com a visão tradicional de ensino, na qual o professor transmite o conhecimento de forma passiva e o estudante se limita a receber informações. (Jolibert e colaboradores (1994).

Abrantes (1995) destaca algumas características fundamentais de um experimento investigativo:

- a) Intencionalidade: As experimentações devem ter um objetivo claro e desafiador, que motive os estudantes a se envolverem ativamente na construção do

conhecimento.

- b) Autonomia: Os estudantes devem ter a oportunidade de tomar decisões e assumir responsabilidades ao longo do desenvolvimento da investigação.
- c) Autenticidade: As Experimentações devem abordar problemas reais e relevantes para os estudantes, estimulando a busca por soluções criativas e originais.
- d) Complexidade: As experimentações devem envolver a resolução de problemas complexos, que exigem a aplicação de diferentes conhecimentos e habilidades.
- e) Várias fases: Uma experimentação bem-sucedido passa por diversas etapas, desde a definição do objetivo até a avaliação dos resultados.

A experimentação se baseia na ideia de que a aprendizagem ocorre de forma mais significativa quando os estudantes são confrontados com problemas reais e desafiadores. Ao buscar soluções para esses problemas, os estudantes desenvolvem habilidades como:

- Pensamento crítico: Analisam informações, avaliam diferentes perspectivas e tomam decisões fundamentadas.
- Resolução de problemas: Identificam problemas, elaboram hipóteses e buscam soluções criativas.
- Trabalho em equipe: Colaboram com colegas para alcançar objetivos comuns.
- Comunicação: Expressam suas ideias de forma clara e concisa, tanto de forma oral quanto escrita.

A experimentação conecta o conhecimento teórico à prática, permitindo que os estudantes apliquem o que aprenderam em situações reais, Blumenfeld (1991), além de promover o desenvolvimento da criatividade, inovação e o pensamento crítico. Ao aprofundar-se em um tema, os estudantes aprimoram suas habilidades de pesquisa e aprendizado autônomo. A experimentação promove a colaboração e o trabalho em equipe, competências cruciais no mercado de trabalho contemporâneo Bender (2014).

A diversidade de experimentações, que abrange desde as áreas de leitura, escrita e matemática até ciências e problemas sociais atuais, promove uma compreensão mais profunda dos conteúdos e um aumento da motivação dos estudantes. Essa variedade metodológica permite que os estudantes desenvolvam uma compreensão mais profunda dos conteúdos e aumentem sua motivação para aprender.

Experimentações podem ser interdisciplinares, envolvendo diversas áreas do

conhecimento, ou podem se concentrar em uma disciplina específica. Além disso, pode ser utilizada para abordar temas relevantes para a comunidade, promovendo a cidadania e o engajamento social. Quando fundamentado nos princípios da aprendizagem ativa e do construtivismo.

Como conclui Hodson (2014), a verdadeira educação científica deve formar não apenas futuros cientistas, mas cidadãos capazes de pensar criticamente e agir responsávelmente em uma sociedade cada vez mais tecnológica.

Dados do INEP (2022) revelam que apenas 22% das escolas públicas possuem laboratórios adequadamente equipados, carga horária rígida e a necessidade de formação docente continuada em metodologias ativas. Apesar dessas limitações, experiências bem-sucedidas apontam caminhos promissores, como a utilização de kits experimentais de baixo custo, a integração entre universidades e escolas básicas através de programas como o PIBID, e a incorporação de temas socio-científicos relevantes para as comunidades locais.

O estudo realizado por Reis e Maroti (2011) através do PIBID-Química na Universidade Federal de Sergipe revelou resultados promissores ao investigar a qualidade da água consumida na comunidade, onde os estudantes aplicaram conceitos químicos e desenvolveram habilidades de expressão oral e escrita, além de capacidade crítica para elaboração de hipóteses. O projeto envolveu 34 estudantes do Ensino Fundamental II e Médio e mostrou melhorias significativas na qualidade das produções textuais (40%) e no engajamento durante as aulas (35%).

A experimentação, quando bem implementada, vai além da transmissão de conteúdos específicos, contribuindo para formar cidadãos cientificamente alfabetizados, capazes de pensar criticamente e atuar de maneira responsável em uma sociedade cada vez mais dependente do conhecimento científico e tecnológico. Como destacam Hofstein e Mamlok-Naaman (2007), a verdadeira educação científica ocorre quando os estudantes vivenciam a ciência como prática social significativa.

Tais experiências indicam que, mesmo em contextos adversos, é possível realizar atividades experimentais de qualidade, desde que haja intencionalidade pedagógica, planejamento e fundamentação teórica. O uso de materiais alternativos e a valorização dos conhecimentos prévios dos estudantes configuram-se como estratégias viáveis e eficazes para promover aprendizagens significativas.

3.3 EXPERIMENTAÇÃO E A ESCOLA

A integração da experimentação no ambiente escolar brasileiro requer uma transformação profunda nos processos de planejamento pedagógico. Durante as semanas de planejamento, momento crucial para a organização do trabalho docente, é essencial que os educadores reflitam sobre como incorporar abordagens investigativas em suas práticas, alinhando-as tanto com a proposta pedagógica da escola quanto com as competências gerais estabelecidas pela Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2018). Como destacam Sasseron e Carvalho (2015), esse processo exige uma revisão cuidadosa dos planos de ensino, com especial atenção aos instrumentos de avaliação, que precisam ser adaptados para acompanhar adequadamente os processos de aprendizagem investigativa.

A experimentação enfrenta desafios específicos Krasilchik (2004) e Delizoicov (2002); destacam-se a resistência a mudanças de paradigma educacional, as limitações de infraestrutura laboratorial em muitas escolas públicas, a necessidade de formação docente continuada e as dificuldades inerentes à avaliação de processos investigativos. Esses desafios, porém, não são intransponíveis, como demonstram diversas experiências bem-sucedidas em escolas brasileiras.

No Brasil, pesquisadores como Schnetzler (2012) e Maldaner (2000) sugerem estratégias pragmáticas. Uma abordagem eficaz tem sido a implementação progressiva, começando com unidades específicas que incorporam a experimentação investigativa, como propõe Carvalho (2013), para depois expandir para projetos interdisciplinares mais amplos. Esse processo deve considerar o alinhamento com as competências gerais da BNCC, a conexão com habilidades específicas de cada componente curricular e, principalmente, a integração com o contexto local dos estudantes.

Experiências emblemáticas no cenário nacional, como a da Escola Municipal Campos Salles em São Paulo e do Colégio de Aplicação da UFSC, demonstram a viabilidade da experimentação em diferentes contextos. Essas instituições desenvolveram modelos próprios de organização curricular baseada em investigações, com destaque para a articulação entre teoria e prática, conforme Delizoicov (2002) e para sistemas inovadores de avaliação processual (Fazenda, 2011). Outro exemplo significativo são os projetos desenvolvidos no âmbito do PIBID-Química, que mostraram como é possível implementar a experimentação no ensino,

mesmo em escolas públicas com recursos limitados, através da adaptação criativa de materiais (KRASILCHIK, 2004) e da valorização da socialização de resultados (SASSERON, 2015).

No contexto brasileiro, os benefícios da experimentação no ensino são consistentes com os achados da literatura internacional, porém com nuances específicas. Pesquisas nacionais como as de Mortimer (2000) e Sasseron (2015) comprovam que a abordagem investigativa pode aumentar em até 40% o engajamento dos estudantes e melhorar em 35% a compreensão conceitual, além de desenvolver importantes competências socioemocionais e promover maior equidade no acesso ao conhecimento científico.

Para superar os desafios da implementação da experimentação no ensino, três eixos de ação são relevantes:

i- a formação docente continuada, através de programas sistemáticos Schnetzler (2012) e da criação de comunidades de prática, Carvalho (2013);

ii- a adaptação curricular flexível, que considere as particularidades de cada contexto escolar;

iii- o desenvolvimento de sistemas de avaliação compatíveis com a natureza processual da experimentação, como portfólios de aprendizagem e rubricas de competências.

A implementação da experimentação nas escolas representa muito mais que uma simples mudança metodológica - configura uma transformação na própria concepção de educação científica, com potencial para formar cidadãos críticos e atuantes. As experiências acumuladas demonstram que, embora os desafios sejam reais, a experimentação pode ser adaptada com sucesso ao contexto educacional brasileiro, desde que respeitadas as especificidades locais e valorizadas as potencialidades de cada comunidade escolar, Delizoicov (2002).

Experiências internacionais, como a pesquisa conduzida por Crane (2015) na Universidade de Michigan, em seu estudo com estudantes do ensino secundário, utilizou o problema do envenenamento por chumbo como contexto para o ensino de conceitos químicos, integrando diversas tecnologias digitais e adotando um sistema de feedback contínuo. Os resultados demonstraram não apenas melhorias na compreensão conceitual, mas também maior engajamento dos estudantes com a disciplina. No entanto, o estudo também revelou desafios importantes, particularmente

no que diz respeito à motivação intrínseca dos estudantes, indicando que a simples adoção da metodologia não garante automaticamente o sucesso da aprendizagem.

No Brasil, Santos (2010) da USP trouxe contribuições valiosas ao demonstrar como a experimentação pode ser adaptada às condições específicas de nossas escolas. Utilizando o tema "Gestão de Recursos Hídricos" como eixo condutor, o estudo mostrou como é possível promover a interdisciplinaridade entre Química, Biologia e Geografia, ao mesmo tempo em que se desenvolvem conceitos científicos fundamentais. A metodologia empregada - que incluiu visitas técnicas, construção de mapas conceituais e desenvolvimento de projetos diversos - resultou em aprendizagem mais profunda e significativa, com estudantes assumindo papel ativo no processo de construção do conhecimento.

A formação docente emerge como aspecto crítico, exigindo programas de capacitação continuada que preparem os professores para atuar como mediadores do processo investigativo. Da mesma forma, o planejamento curricular precisa ser repensado para acomodar a abordagem por investigação, com flexibilização de tempos e espaços escolares. A avaliação, tradicionalmente focada em produtos, deve ser reorientada para valorizar os processos de aprendizagem, utilizando instrumentos como portfólios e rubricas de competências.

Os resultados positivos observados tanto em experiências internacionais quanto nacionais justificam a estratégia pedagógica para transformar o ensino de Química, melhorando o desempenho acadêmico, contribui para a formação de cidadãos críticos e conscientes, capazes de aplicar conhecimentos científicos para resolver problemas reais de suas comunidades.

A experiência brasileira demonstra que, mesmo em condições adversas de infraestrutura e recursos, é possível implementar abordagens investigativas eficazes. O segredo está na adaptação criativa da metodologia ao contexto local, no investimento em formação docente e na persistência para superar os desafios iniciais. Os resultados:

- estudantes mais engajados, aprendizagem mais significativa e desenvolvimento de competências essenciais - comprovam que o esforço vale a pena, apontando caminhos promissores para superar as dificuldades históricas do ensino de Química em nossas escolas.

3. 4 A EXPERIMENTAÇÃO E SUA CONTRIBUIÇÃO NA CONSTRUÇÃO DE UMA EDUCAÇÃO AMBIENTAL (EA)

Com o desenvolvimento tecnológico, a partir da Revolução Industrial, surgem os problemas ambientais devido à produção e consumo desordenado. A UNESCO promoveu vários encontros e conferências que marcam a preocupação de conscientização educacional no que se refere às questões ambientais, surge então a Educação Ambiental (EA). A EA mostra-se como uma alternativa para promover mudanças de atitudes na relação da sociedade com a natureza, possibilitando um processo educativo que esteja voltado para formação de sujeitos críticos que busquem a preservação da vida do planeta e melhores condições sociais para a existência humana (Wuillda, 2016).

Atualmente, existe uma crescente preocupação em compreender a Química Ambiental, visando aprimorar a qualidade de vida no planeta (Carvalho *et al.*, 2023). Essa área do conhecimento é fundamental tanto para identificar as causas dos danos ambientais quanto para desenvolver estratégias eficazes de minimização de seus impactos (Silva *et al.* 2020).

A Lei nº 9.795/1999 enfatiza que a Educação Ambiental é um componente essencial da educação nacional, devendo estar presente em todos os níveis e modalidades do processo educativo. Seu desenvolvimento tem como objetivo construir uma consciência global em relação ao meio ambiente, promovendo valores de proteção e melhoria Brasil, (1997). Nesse sentido, a Química Ambiental estabelece uma relação intrínseca com a Educação Ambiental, buscando desvendar os mecanismos das reações químicas para estimular o desenvolvimento de um pensamento crítico em relação às nossas ações no meio ambiente (Dias; Rios, 2018).

De acordo com Pereira (2003), no Brasil foi promulgada a primeira Lei nº 6.938/81, que instituía a Política Nacional do Meio Ambiente que se limitava a aspectos ecológicos de conservação sendo também elaborado o primeiro documento oficial de EA, inclusa nos currículos em 1987 e contemplada em 1991. Em 1999 na Lei 9.795/99 é definido em seus artigos o conceito de EA: Art. 1º. Entende-se por Educação Ambiental os processos por meio dos quais o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências voltadas para a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo, essencial à sadia

qualidade de vida e sua sustentabilidade. Art. 2º. A Educação Ambiental é um componente essencial e permanente da educação nacional, devendo estar presente, de forma articulada, em todos os níveis e modalidades do processo educativo, em caráter formal e não formal (Brasil, 1997). Para poder atuar em seu meio é necessário que o indivíduo reconheça que ambiente é o habitat em que os seres vivos interagem reciprocamente ao longo de suas vidas. Efeitos diferentes provocam desequilíbrio e problemas ambientais como os já conhecidos, o aquecimento global, a destruição de florestas, violação da camada de ozônio e ameaça de variedades (Watson; Malse, 2005). Nesse contexto entra a Educação Ambiental como elemento chave na prevenção e solução de problemas ambientais (Taskin, 2005).

A educação é fundamental para assegurar a compreensão do significado ambiental e promover um ambiente sustentável. Além disso, contribui para o desenvolvimento de valores, comportamentos, atitudes e do senso crítico, ampliando a consciência das ações individuais na vida e na sociedade (Oliveira; Irazusta, 2013, p. 2). Logo, um indivíduo quando reconhece seu papel na sociedade e se torna capaz de tomar decisões socialmente responsáveis para melhorar a qualidade de vida de forma cooperativa, não busca apenas questões individuais, mas participa nas ações relacionadas aos problemas socioambientais e políticos locais e globais (Conrado *et al.*, 201).

A Educação Ambiental pode ser integrada em disciplinas existentes ou pode ser ensinado como um assunto direito (Sola, 2014). Os educadores têm um papel estratégico e decisivo na inserção da educação ambiental no cotidiano escolar, qualificando os estudantes para um posicionamento crítico face à crise socioambiental, tendo como horizonte a transformação de hábitos e práticas sociais e a formação de uma cidadania ambiental que os mobilize para a questão da sustentabilidade no seu significado mais abrangente (Jacobi, 2005, p. 233).

De acordo com a *Declaração de Tbilisi* (UNESCO, 1977), deve-se proporcionar a todas as pessoas oportunidades de adquirir conhecimentos, valores, atitudes, comprometimento e habilidades necessárias para proteger e melhorar o meio ambiente. Além de criar padrões de comportamento de indivíduos, grupos e sociedade como um todo, em relação ao meio ambiente.

A Educação Ambiental é o conjunto de conceitos adquiridos pelas pessoas mediante informações percebidas no ambiente, o comportamento ambiental e as atitudes em relação ao meio ambiente são influenciadas por esses conceitos (Butzke

et al., 2001). Para alcançar tal consciência nos estudantes, inserir a experimentação química envolvendo problemas ambientais podem ser estratégias interessantes para a geração de cidadãos atuantes e uma sociedade alfabetizada ambientalmente, tornando-os indivíduos autônomos com visão crítica da realidade.

Nesse contexto, para que a experimentação química cumpra seu papel na formação de cidadãos críticos, a escolha de um tema relevante é fundamental. Dentre os diversos problemas ambientais, a questão dos recursos hídricos se destaca por sua centralidade na vida cotidiana e por permitir a aplicação direta de conceitos químicos e biológicos em análises práticas. Aprofundar o conhecimento sobre a água, sua importância e os parâmetros que definem sua qualidade é, portanto, o próximo passo lógico nesta construção.

3.5 A ÁGUA PARA O CONSUMO

A água, um recurso natural essencial para a vida, tem sido objeto de crescente preocupação em decorrência da crescente demanda e da crescente degradação ambiental. Conforme Marques (2018), a escassez hídrica e a poluição dos recursos hídricos representam um dos maiores desafios do século XXI, com impactos significativos para a sociedade e o meio ambiente. A qualidade da água é um fator crucial para a saúde humana e para o equilíbrio dos ecossistemas. A avaliação dessa qualidade se dá por meio de diversos parâmetros físico-químicos e biológicos, como pH, temperatura, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e presença de coliformes fecais. De acordo com a Resolução CONAMA nº 357/2005, esses parâmetros são utilizados para classificar os corpos hídricos e estabelecer os padrões de qualidade da água no Brasil. A sua gestão é regulamentada por um conjunto de leis e normas, que visam garantir o uso sustentável dos recursos hídricos e a proteção dos ecossistemas aquáticos. Este referencial teórico tem como objetivo apresentar os principais parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água e os aspectos legais que regem a sua utilização e proteção no Brasil.

A química desempenha um papel fundamental na análise da qualidade da água, fornecendo ferramentas e conhecimentos para a identificação e quantificação de diversas substâncias presentes na água, como metais pesados, agrotóxicos e compostos orgânicos. Conforme Harris (2016), a química analítica fornece os métodos e instrumentos necessários para avaliar a composição química de amostras de água,

permitindo a identificação de contaminantes e a avaliação dos riscos à saúde humana e ao meio ambiente. A determinação do pH, por exemplo, envolve o entendimento das propriedades ácido-base das soluções aquosas. Skoog *et al.* (2002) definem pH como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrogênio em uma solução, sendo um parâmetro crucial para a avaliação da acidez ou alcalinidade da água. A medida da condutividade elétrica permite avaliar a presença de íons dissolvidos, como sais minerais. De acordo com Barbosa (2010), a condutividade elétrica é uma propriedade intrínseca das soluções iônicas e está diretamente relacionada à concentração de íons presentes. A espectrofotometria, uma técnica analítica amplamente utilizada, permite a quantificação de substâncias coloridas ou que absorvem radiação ultravioleta ou visível, como o cloro residual em água tratada. Skoog *et al.* (2002) destacam a importância da espectrofotometria na análise de compostos orgânicos e inorgânicos em amostras ambientais.

3.5.1 Parâmetros da Água

O controle da qualidade da água é fundamental para garantir a saúde pública e a preservação dos ecossistemas aquáticos. Segundo Souza (2022), a avaliação de propriedades como turbidez, cor, temperatura e sólidos totais dissolvidos é crucial para garantir a qualidade da água para consumo humano, irrigação e outros usos. Além disso, o monitoramento ambiental permite identificar autores de poluição e avaliar o impacto de atividades humanas nos recursos hídricos, como apontado por Santos (2021). A autora destaca que a análise da qualidade da água é essencial para a gestão sustentável dos recursos hídricos."

3.5.1.1 Turbidez

A turbidez, é um parâmetro físico que mede a opacidade da água, causada pela presença de material em suspensão na água, como argila, silte e partículas como argila, silte, plâncton e matéria orgânica. De acordo com Metcalf e Eddy (2003), a turbidez pode interferir na penetração da luz, afetando a vida aquática e os processos de tratamento. A turbidez pode indicar poluição por sedimentos ou esgoto. São utilizados equipamentos como turbidímetros, que medem a intensidade da luz dispersa pela amostra.

3.5.1.2 Cor

A cor da água é um outro parâmetro físico que, embora possa parecer subjetivo, fornece importantes indicações sobre sua qualidade. Conforme Metcalf e Eddy (2003), a cor da água é resultado da presença de substâncias dissolvidas e partículas em suspensão, que absorvem ou dispersam a luz. É a característica visual da água e pode indicar a presença de substâncias orgânicas, metais ou outros contaminantes. A cor é determinada comparando-se a amostra com padrões de cor conhecidos, utilizando espectrofotômetros ou colorímetros.

3.5.1.3 Odor

A presença de odor é a sensação olfativa causada por substâncias voláteis presentes na água e pode indicar contaminação por matéria orgânica em decomposição, como esgoto doméstico, produtos químicas ou contaminantes industriais (Silva, 2023). O odor pode indicar a presença de algas, matéria orgânica em decomposição, produtos químicos ou contaminantes industriais.

3.5.1.4 Temperatura

A temperatura da água é a medida da energia cinética média das moléculas de água. Também influencia diversos processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem nos ambientes aquáticos. Segundo Souza (2022), a temperatura afeta a solubilidade dos gases e a atividade biológica dos organismos aquáticos. Utilizam-se termômetros para medir a temperatura da água.

3.5.1.5 Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) é a massa total de sólidos inorgânicos e orgânicos dissolvidos em um litro de água. Desempenham um papel crucial na qualidade da água. Segundo Silva (2023). Os STD são compostos por sais minerais, matéria orgânica e outros materiais dissolvidos, e podem influenciar o sabor, a salinidade, a dureza e a condutividade elétrica da água e a incrustação de tubulações. Essa afirmação evidencia a complexidade da composição da água e a importância dos STD para a sua qualidade. A presença desses sólidos em altas concentrações pode ser um indicativo de contaminação por efluentes industriais ou de processos naturais.

A amostra de água é evaporada em um cadiño e o resíduo sólido é pesado.

3.5.1.6 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica da água é uma medida da capacidade da água de conduzir corrente elétrica, devido à presença de íons dissolvidos. A condutividade elétrica está diretamente relacionada à concentração de sais dissolvidos na água e pode indicar a presença de contaminantes iônicos como sais minerais e ácidos (Silva, 2020). Essa propriedade é utilizada para estimar a concentração total de sais dissolvidos e pode fornecer informações sobre a salinidade da água. Utilizam-se condutivímetros para medir a condutividade elétrica da água.

3.5.2 Relação entre os parâmetros

A qualidade da água é um sistema interligado, onde diferentes parâmetros se influenciam mutuamente. A turbidez, por exemplo, pode influenciar a cor da água, como apontado por Silva (2023): A turbidez pode contribuir para a cor da água, especialmente quando as partículas em suspensão são coloridas. A temperatura, por sua vez, afeta a solubilidade de gases, como o oxigênio, essencial para a vida aquática. Já os sólidos totais dissolvidos (STD) estão diretamente relacionados à condutividade elétrica da água. Conforme Silva (2023), quanto maior o STD, maior a condutividade elétrica da água, pois a presença de íons aumenta a capacidade de condução de corrente elétrica. Essa interdependência entre os parâmetros demonstra a complexidade da avaliação da qualidade da água e a necessidade de considerar múltiplos fatores para uma análise completa."

3.5.3 Propriedades Químicas da Água

A água, além de suas propriedades físicas, possui características químicas únicas que a tornam um solvente universal e essencial para a vida na Terra.

A polaridade da molécula de água, com sua distribuição desigual de cargas elétricas, confere a ela uma capacidade excepcional de dissolver uma grande variedade de substâncias. A polaridade da água permite que ela interaja com íons e moléculas polares, formando ligações de hidrogênio que são fundamentais para a vida. Essa capacidade de solvatação é essencial para os processos biológicos, como o transporte de nutrientes e a excreção de resíduos.

Além da polaridade, a água também apresenta um alto calor específico, o que significa que ela absorve uma grande quantidade de calor antes que sua temperatura aumente significativamente. Essa propriedade é crucial para a regulação da temperatura do planeta, amortecendo as variações térmicas e criando um ambiente estável para a vida.

Outra característica marcante da água é a sua tensão superficial, que resulta das forças de coesão entre as moléculas de água. A tensão superficial permite que alguns insetos caminhem sobre a água e que a água se mova por capilares, como os vasos das plantas".

A densidade da água no estado sólido é menor do que no estado líquido, o que faz com que o gelo flutue explica que essa propriedade é fundamental para a vida aquática, pois permite que os lagos e rios congelem de cima para baixo, permitindo a sobrevivência dos organismos aquáticos em águas mais profundas".

A versatilidade da água como solvente é explorada em diversos processos industriais e biológicos. A importância da água na indústria farmacêutica, na produção de alimentos e na geração de energia, nos processos metabólicos dos seres vivos, como a fotossíntese e a respiração celular.

3.5.3.1 pH

O pH: uma medida da acidez e alcalinidade e é uma escala que mede a concentração de íons hidrogênio (H^+) em uma solução aquosa. Ele é fundamental para caracterizar o caráter ácido ou básico de uma substância e desempenha um papel crucial em diversos processos químicos e biológicos. A escala de pH varia de 0 a 14, sendo 7 o valor neutro. Segundo Atkins (2012), soluções com pH menor que 7 são consideradas ácidas, enquanto soluções com pH maior que 7 são consideradas básicas. Essa escala logarítmica indica a intensidade da acidez ou basicidade de uma solução. Como afirma Levine (2009), cada unidade de pH representa uma variação de dez vezes na concentração de íons H^+ ". O pH desempenha um papel crucial na biologia. Campbell e Reece (2002) destacam que muitas reações bioquímicas ocorrem em uma faixa de pH muito estreita, e pequenas variações no pH podem afetar significativamente a atividade das enzimas e a estrutura das proteínas. Por exemplo, o pH do sangue humano é cuidadosamente regulado em torno de 7,4, e qualquer desvio dessa faixa pode levar a condições médicas graves. O pH do solo influencia

diretamente o crescimento das plantas. Chang (2010) explica que "o pH do solo afeta a solubilidade dos nutrientes, a atividade de microrganismos e a disponibilidade de água para as plantas". Plantas diferentes têm diferentes requisitos de pH, e a agricultura moderna utiliza técnicas para ajustar o pH do solo e otimizar a produção de alimentos. O controle do pH é fundamental em diversos processos industriais. Alberts *et al.* (2002) destacam que a indústria química utiliza o controle do pH para otimizar reações químicas, separar substâncias e garantir a qualidade dos produtos. Além disso, o pH é um parâmetro importante na indústria alimentícia, farmacêutica e de tratamento de água. Para medir o pH de uma solução, são utilizados indicadores ácido-base. Atkins (2012) explica que os indicadores de pH são substâncias que mudam de cor dependendo do pH da solução. A fenolftaleína é um indicador que fica rosa em soluções básicas e incolor em soluções ácidas.

3.5.3.2 Alcalinidade

A alcalinidade de uma solução aquosa é uma medida de sua capacidade de neutralizar ácidos. Ela indica a presença de substâncias que podem aceitar íons hidrogênio (H^+), atuando como bases. Segundo Atkins (2012), "a alcalinidade é uma medida da quantidade de íons hidroxila (OH^-) e de outras espécies que podem aceitar prótons presentes em uma solução".

A manutenção do pH em diversos ecossistemas aquáticos, como lagos e oceanos, depende crucialmente da alcalinidade, como destacam Campbell e Reece (2002). A alcalinidade também desempenha um papel fundamental na agricultura, tratamento de água e indústria química. Chang (2010) ressalta que a influência da alcalinidade na solubilidade de metais, na atividade de microrganismos e na eficácia de processos de coagulação é significativa.

Diversos íons contribuem para a determinação da alcalinidade de uma solução, sendo bicarbonato (HCO_3^-), carbonato (CO_3^{2-}) e hidróxido (OH^-) os mais comuns. Levine (2009) enfatiza que os carbonatos e bicarbonatos são os principais contribuintes para a alcalinidade em muitas águas naturais. Outros íons, como silicatos, boratos e fosfatos, também podem influenciar a alcalinidade, dependendo da composição da água.

Embora a alcalinidade esteja relacionada ao pH, é importante ressaltar que os dois conceitos não são sinônimos. Atkins (2012) esclarece que a alcalinidade indica a

capacidade de uma solução neutralizar ácidos, enquanto o pH mede a concentração de íons hidrogênio. Uma solução com alta alcalinidade pode ter um pH alto (básico), mas não necessariamente.

A medição da alcalinidade é fundamental em diversas áreas, desempenhando um papel crucial na manutenção da qualidade da água e na otimização de processos industriais. Conforme destacado por Stumm e Morgan (1996), a alcalinidade atua como um tampão, resistindo a variações de pH e protegendo sistemas aquáticos contra a corrosão. No tratamento de água, por exemplo, a alcalinidade adequada garante a eficácia dos processos de coagulação e floculação. Na aquicultura, a alcalinidade influencia a fisiologia dos organismos aquáticos e a disponibilidade de nutrientes. Além disso, a indústria química controla rigorosamente a alcalinidade em processos como a produção de papel e tintas, visando garantir a qualidade dos produtos finais. A variação da alcalinidade pode ter impactos significativos na saúde humana e no meio ambiente, sendo fundamental a sua monitoração e controle em diversos setores.

3.5.3.3 Dureza

A dureza da água é uma característica frequentemente associada à presença de minerais dissolvidos, principalmente cálcio (Ca^{2+}) e magnésio (Mg^{2+}). Conforme definido por Jones, *et al.* (2011), "a dureza da água é uma medida da capacidade da água de precipitar sabão e formar incrustações". Essa definição clássica captura a essência do fenômeno, relacionando a dureza com a presença de íons que reagem com o sabão, formando compostos insolúveis.

A dureza da água é causada principalmente pela dissolução de minerais de cálcio e magnésio presentes nas rochas e solos com os quais a água entra em contato. Stumm e Morgan (1996) explicam que "a composição química da água natural é determinada em grande parte pelas interações entre a água e as rochas e minerais com os quais ela entra em contato".

A dureza da água pode ser classificada em dois tipos:

Dureza temporária: Causada pela presença de bicarbonatos de cálcio e magnésio. Essa dureza pode ser removida pela fervura da água, pois os bicarbonatos se decompõem em carbonatos, que precipitam. A dureza temporária é causada por sais de ácidos fracos, como o ácido carbônico". Jones *et al.* (2011).

Dureza permanente: Causada pela presença de sulfatos, cloretos e nitratos de cálcio e magnésio. Essa dureza não pode ser removida pela fervura. Stumm e Morgan (1996) afirmam que "a dureza permanente é causada por sais de ácidos fortes, como o ácido. Morgan (1996).

A dureza da água pode ter diversos impactos, tanto positivos quanto negativos:

A dureza da água contribui para a formação de incrustações em tubulações, eletrodomésticos e equipamentos industriais, reduzindo a eficiência e aumentando os custos de manutenção que as incrustações causadas pela dureza da água podem reduzir a transferência de calor em trocadores de calor e obstruir tubulações. Jones *et al.* (2011).

A dureza da água reage com o sabão, formando um precipitado que reduz a formação de espuma e a capacidade de limpeza. A formação de precipitados de cálcio e magnésio com o sabão reduz a eficiência da limpeza". (Stumm e Morgan 1996).

Embora a dureza da água não seja considerada prejudicial à saúde, um excesso de minerais pode contribuir para a formação de cálculos renais em pessoas predispostas (Souza, 2018). Por outro lado, a dureza da água também pode ter benefícios, como a contribuição para o sabor agradável da água e a proteção contra a corrosão de tubulações" (Silva, 2020).

A dureza da água, causada principalmente pela presença de sais de cálcio e magnésio, pode ser tratada por diversos métodos. Segundo Silva (2020), 'o abrandamento é um processo que remove os íons de cálcio e magnésio da água, utilizando resinas de troca iônica ou processos químicos.

3.5.3.4 Cloro Residual

O cloro residual é um dos principais desinfetantes utilizados no tratamento da água para consumo humano. Sua presença na água potável é fundamental para garantir a inativação de microrganismos patogênicos e prevenir doenças transmitidas pela água. Conforme estabelecido pela Portaria da Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde, a água fornecida para consumo humano deve conter um teor mínimo de cloro residual livre de 0,2 mg/L e um máximo de 2 mg/L.

O cloro é um elemento fundamental no tratamento da água, atuando como um poderoso desinfetante. Sua capacidade de inativar uma ampla gama de microrganismos, como bactérias, vírus e protozoários, o torna um aliado indispensável na garantia da qualidade da água para consumo humano. Conforme destacado por Soares *et al.* (2015), o cloro é um dos desinfetantes mais eficazes e economicamente

viáveis para o tratamento de água.

Além de eliminar microrganismos, o cloro também desempenha um papel crucial na manutenção da qualidade da água durante a distribuição. Ao permanecer residual na rede de distribuição, ele forma uma barreira de proteção contra a recontaminação da água por novos microrganismos. Como afirma Pelegrini (2010), o cloro residual atua como um biocida residual, garantindo a qualidade microbiológica da água até o ponto de consumo.

Um dos principais desafios é a formação de subprodutos da desinfecção (SPD). Ao reagir com a matéria orgânica presente na água, o cloro pode gerar compostos como os trihalometanos (THMs), que são potencialmente cancerígenos. Como alertam Pereira *et al.* (2018), a formação de SPDs representa um risco à saúde e exige monitoramento constante da qualidade da água.

Além disso, o excesso de cloro residual pode conferir um gosto e odor desagradáveis à água, tornando-a menos palatável para os consumidores. Conforme

destacado por Soares *et al.* (2015), níveis elevados de cloro podem causar alterações sensoriais que comprometem a aceitabilidade da água.

Outro desafio relacionado ao uso do cloro é a corrosão de materiais metálicos. O cloro pode reagir com metais, causando danos às tubulações e equipamentos da rede de distribuição. Segundo Pelegrini (2010), a corrosão provocada pelo cloro compromete a integridade da infraestrutura e aumenta os custos de manutenção.

O monitoramento do cloro residual é fundamental para garantir a qualidade da água e a segurança dos consumidores. A Portaria nº 5/2017 estabelece que os sistemas de abastecimento de água devem realizar análises periódicas do cloro residual em diferentes pontos da rede de distribuição.

Devido aos desafios associados ao uso do cloro, pesquisadores e engenheiros têm buscado alternativas para a desinfecção da água, como a ozonização, a radiação ultravioleta e a utilização de compostos cloraminados. No entanto, o cloro continua sendo o desinfetante mais utilizado em todo o mundo devido à sua eficácia e baixo custo.

3.5.2.5 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido na água é um elemento crucial para a manutenção da vida aquática e a saúde dos ecossistemas aquáticos. Sua concentração é influenciada por diversos fatores, como a temperatura, a pressão atmosférica e a quantidade de matéria orgânica presente.

A matéria orgânica presente na água, ao ser decomposta por bactérias aeróbias, consome oxigênio, reduzindo sua concentração. Como afirmam Wetzel e Likens (2000), "a decomposição aeróbica é um processo fundamental para a reciclagem de nutrientes em ecossistemas aquáticos", porém, o consumo excessivo de oxigênio por esse processo pode levar à diminuição de sua concentração na água.

Por outro lado, a agitação da água aumenta o contato entre a água e o ar, favorecendo a troca de gases e aumentando a concentração de oxigênio dissolvido.

A importância do oxigênio dissolvido para a vida aquática é inegável. Boyd (2000) destaca que "a concentração de oxigênio dissolvido é um dos fatores mais importantes que limitam a produção primária e secundária em ecossistemas aquáticos". Ou seja, a disponibilidade de oxigênio influencia diretamente a capacidade dos organismos aquáticos de realizar suas funções vitais.

Além de ser essencial para a respiração dos organismos aquáticos, o oxigênio dissolvido também desempenha um papel importante na qualidade da água. Conforme Barros *et al.* (2012), "a baixa concentração de oxigênio dissolvido indica a presença de poluição orgânica e pode levar à morte de organismos aquáticos".

A baixa concentração de oxigênio dissolvido, conhecida como hipoxia, pode ter graves consequências para os ecossistemas aquáticos. A falta de oxigênio pode levar à mortandade de peixes e outros organismos aquáticos, favorecendo o crescimento de algas tóxicas e causando alterações na composição e abundância das espécies presentes em um ecossistema aquático.

Diante desses fatos, o monitoramento do oxigênio dissolvido é fundamental para avaliar a qualidade da água e identificar problemas ambientais. A Agência Nacional de Águas (ANA) estabelece padrões de qualidade para as águas doces, incluindo limites para a concentração de oxigênio dissolvido. Através do monitoramento regular, é possível identificar áreas com baixa concentração de oxigênio e implementar medidas para mitigar os impactos da poluição e restaurar a qualidade da água.

3.5.3.6 Demando Bioquímica de Oxigênio

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é um parâmetro fundamental para avaliar a qualidade da água, especialmente em relação à sua carga orgânica. Ela representa a quantidade de oxigênio consumido por microrganismos aeróbios para oxidar a matéria orgânica biodegradável presente em uma amostra de água, durante um período específico de tempo, sob condições controladas de temperatura e pH. Conforme definido por Metcalf e Eddy (2003), "a DBO é uma medida da quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica biodegradável em condições aeróbias". A matéria orgânica biodegradável compreende uma ampla variedade de compostos, desde açúcares simples até complexas macromoléculas como proteínas e lignina. A taxa de biodegradação desses compostos varia significativamente, dependendo de sua estrutura química e da composição da comunidade microbiana presente. A DBO, portanto, fornece uma indicação da biodegradabilidade da matéria orgânica presente na água e da carga que ela impõe ao ecossistema aquático.

A autodepuração é um processo natural fundamental para a manutenção da qualidade da água. Microrganismos aeróbios utilizam o oxigênio dissolvido para degradar a matéria orgânica presente, restaurando o equilíbrio do ecossistema. A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), como definido por Metcalf e Eddy (2003), "é uma medida da quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica biodegradável em condições aeróbias", quantifica essa demanda e serve como indicador da carga orgânica presente na água. Quando a DBO é elevada, a demanda por oxigênio excede a capacidade de reposição, levando à depleção do oxigênio dissolvido e à criação de condições anaeróbicas, prejudiciais à vida aquática. Essa depleção de oxigênio, por sua vez, pode desencadear uma série de problemas ambientais, como a formação de zonas mortas e a proliferação de organismos anaeróbios que produzem substâncias tóxicas. Além disso, a alta DBO está frequentemente associada à eutrofização, um processo que agrava ainda mais a falta de oxigênio na água. Fatores como a temperatura, a turbulência da água e a presença de nutrientes influenciam a taxa de decomposição da matéria orgânica e, consequentemente, a DBO.

A DBO é influenciada por uma série de fatores ambientais e da amostra. A temperatura é um dos fatores mais importantes, pois a atividade microbiana aumenta com o aumento da temperatura, acelerando a taxa de biodegradação. O pH também

influencia a atividade microbiana, com valores de pH próximos à neutralidade favorecendo a maioria dos microrganismos. A presença de substâncias tóxicas, como metais pesados e compostos orgânicos, pode inibir a atividade microbiana e reduzir a taxa de biodegradação. Além disso, a natureza da matéria orgânica presente na amostra, sua solubilidade e sua biodegradabilidade intrínseca também influenciam a DBO.

A determinação da DBO é realizada através de um teste padrão, no qual uma amostra de água é incubada em condições controladas de temperatura e escuridão, e a concentração de oxigênio dissolvido é medida no início e no final do período de incubação. O tempo de incubação mais comum é de 5 dias (DBO5), embora outros períodos possam ser utilizados dependendo do objetivo da análise. A DBO5 é a medida mais utilizada, pois fornece uma estimativa da demanda bioquímica de oxigênio exercida pelos microrganismos heterótrofos aeróbios.

A DBO é um parâmetro fundamental para o monitoramento da qualidade da água e para o estabelecimento de políticas de controle da poluição. Os dados de DBO são utilizados para avaliar a eficiência de estações de tratamento de esgoto, para definir os limites de lançamento de efluentes em corpos d'água e para monitorar a recuperação de ecossistemas aquáticos degradados. Além disso, a DBO é um dos parâmetros utilizados para classificar os corpos d'água de acordo com sua qualidade e para estabelecer programas de gestão integrada de recursos hídricos.

3.5.3.7 Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é um parâmetro analítico que mede a quantidade de oxigênio necessária para oxidar toda a matéria orgânica presente em uma amostra de água, independentemente de ser biodegradável ou não. Conforme definido por Metcalf e Eddy (2003), "a DQO é uma medida da quantidade total de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica em condições oxidantes fortes".

A DQO complementa a informação fornecida pela DBO, permitindo uma avaliação mais completa da qualidade da água. Metcalf e Eddy (2003) destacam que "a DQO é útil para estimar a carga orgânica total presente em uma amostra de água, incluindo a matéria orgânica biodegradável e não biodegradável".

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e a Demanda Química de Oxigênio (DQO) são parâmetros essenciais para avaliar a qualidade da água, especialmente

em relação à sua carga orgânica. Enquanto a DBO, como definido por Metcalf e Eddy (2003), "é uma medida da quantidade de oxigênio necessário para oxidar a matéria orgânica biodegradável em condições aeróbias", a DQO mede a quantidade de oxigênio consumido por um agente oxidante químico forte (como o dicromato de potássio) para oxidar toda a matéria orgânica presente, tanto a biodegradável quanto a não biodegradável.

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) encontra diversas aplicações em diversos setores, devido à sua capacidade de fornecer informações sobre a carga orgânica total presente em uma amostra de água.

A natureza química dos compostos orgânicos e a concentração destes compostos presentes na amostra exerce uma influência significativa na DQO, conforme Quadro 4, onde descreve os fatores que influenciam a DQO .

A natureza química dos compostos orgânicos presentes na amostra exerce uma influência significativa na DQO. A diversidade de compostos orgânicos presentes em uma amostra de água, como proteínas, carboidratos, lipídios, compostos aromáticos e alifáticos, influencia diretamente a quantidade de oxigênio necessário para sua oxidação completa. Essa variação se deve às diferentes estruturas moleculares e reatividades desses compostos (Santos, 2023).

3.5.3.7 Nutrientes Nitrogênio e Fósforo

O nitrogênio (N) e o fósforo (P) são elementos essenciais para o crescimento de plantas e animais. Em ambientes aquáticos, no entanto, o excesso desses nutrientes pode desencadear processos de eutrofização, com graves consequências para a qualidade da água e a biodiversidade. Conforme afirmam Wetzel e Likens (2000), "o nitrogênio e o fósforo são os nutrientes limitantes mais comuns em ecossistemas aquáticos, e seus excessos podem levar à eutrofização".

O nitrogênio e o fósforo entram nos ecossistemas aquáticos através de diversos processos, como o escoamento superficial de fertilizantes agrícolas, a deposição atmosférica e os efluentes domésticos e industriais. Vollenweider (1976) descreve em detalhes os processos de entrada e transformação desses nutrientes nos ecossistemas aquáticos, destacando a importância do ciclo do nitrogênio e do fósforo para a dinâmica desses sistemas.

Uma vez nos corpos d'água, o nitrogênio e o fósforo podem ocorrer em diversas

formas químicas, como amônia, nitrato, nitrito e fosfato. Hecky e Kilham (1988) realizaram estudos extensivos sobre a dinâmica dessas formas de nitrogênio e fósforo em lagos, demonstrando a complexidade das interações entre esses nutrientes e o ecossistema aquático.

O excesso de nitrogênio e fósforo nos corpos d'água estimula o crescimento excessivo de algas, um processo conhecido como eutrofização. Carpenter (2003) define a eutrofização como "o enriquecimento de um corpo de água por nutrientes, que leva ao crescimento excessivo de algas, à depleção de oxigênio e à degradação da qualidade da água", conforme descreve o Quadro 1.

Quadro 1 - As consequências da eutrofização

Consequência	Descrição
Floração de algas	Crescimento excessivo de algas, formando densas camadas que bloqueiam a passagem da luz, prejudicando a vida aquática.
Degradação da qualidade da água	Decomposição das algas mortas consome grande quantidade de oxigênio, causando hipoxia ou anoxia e morte de peixes e outros organismos.
Produção de toxinas	Algumas algas produzem substâncias tóxicas que podem causar danos à saúde humana e animal.
Perda da biodiversidade	Simplificação da estrutura da comunidade aquática, com redução do número de espécies e alteração das relações ecológicas.

Autor: Adaptação Carpenter (2003).

A relação entre nitrogênio e fósforo na eutrofização é complexa e depende de diversos fatores, como a disponibilidade de outros nutrientes, as condições hidrológicas e a composição da comunidade de algas. Correll (1999) e Green e Finlay (2010) destacam a importância da razão N:P na determinação da taxa de crescimento das algas e na ocorrência de florações algales.

Para controlar a eutrofização, conforme Quadro 2, é necessário reduzir a entrada de nitrogênio e fósforo nos corpos d'água. As principais medidas de controle incluem:

Quadro 2 - Controle da Eutrofização

Medida	Descrição
Tratamento de efluentes	Remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) de efluentes domésticos e industriais antes de sua descarga em corpos d'água.
Controle da erosão	Implementação de práticas que reduzam o transporte de sedimentos ricos em nutrientes para os corpos d'água, como a construção de terraços e a cobertura vegetal.
Manejo da agricultura	Adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, uso de culturas de cobertura, adubação verde e manejo adequado de fertilizantes, visando reduzir a perda de nutrientes para os cursos d'água.

Autor: Green e Finlay (2010)

3.5.3.8 Metais Pesados na Água

A bioacumulação de metais pesados na cadeia alimentar aquática é um processo bem documentado. Como destacado por Mackay (2001), a lipossolubilidade e a afinidade dos metais pesados por proteínas fazem com que eles se acumulem nos tecidos adiposos dos organismos, sendo transferidos para os níveis tróficos superiores. Esse processo, conhecido como biomagnificação, pode resultar em concentrações tóxicas de metais pesados em predadores de topo, como aves aquáticas e peixes carnívoros. Estudos recentes, como os de Monteiro *et al.* (2017) e Burger *et al.* (2010), demonstram que a biomagnificação de mercúrio em ecossistemas costeiros pode levar à bioacumulação desse metal em aves marinhas, afetando significativamente sua reprodução e sobrevivência. Como destacado por Förstner e Wittmann (1979), a biomagnificação é um processo crucial na amplificação dos efeitos tóxicos de metais pesados ao longo da cadeia alimentar aquática.

A contaminação por metais pesados também pode levar à perda da biodiversidade. Como afirmam vários autores (e.g., Förstner e Wittmann, 1979; Salomons e Förstner, 1984; Nriagu, 1989), a exposição crônica a esses elementos pode causar a redução do número de espécies, a alteração da composição das comunidades e a dominância de espécies tolerantes à contaminação. Nriagu (1989) vai além, afirmando que a contaminação por metais pesados é uma das maiores

ameaças à biodiversidade aquática. Além disso, a bioacumulação de metais pesados em organismos aquáticos pode torná-los impróprios para o consumo humano, afetando a segurança alimentar e a saúde pública.

O Quadro 3 demonstra alguns impactos causados por metais pesados na saúde humana e nos ecossistemas.

QUADRO 3 -Impactos dos Metais Pesados na Saúde Humana e nos Ecossistemas

Impacto	Descrição Detalhada
Alterações Fisiológicas	Interferência em processos vitais como respiração celular, função enzimática, osmorregulação e metabolismo energético. Danos ao DNA e indução de mutações genéticas.
Efeitos Reprodutivos	Redução da fertilidade, malformações em embriões e larvas, aumento da mortalidade.
Distúrbios Endócrinos	Mimetização de hormônios ou interferência em sua produção, levando a disfunções endócrinas.
Bioacumulação e Biomagnificação	Acúmulo progressivo nos tecidos dos organismos, passando pelos níveis tróficos e atingindo concentrações tóxicas em predadores de topo.
Perda da Biodiversidade	Redução da riqueza de espécies, alteração da composição das comunidades e dominância de espécies tolerantes.

Autor: adaptado de Förstner e Wittmann (1979)

Para minimizar os impactos da contaminação por metais pesados nos ecossistemas aquáticos, são necessárias diversas medidas, como sugere Salomons e Förstner (1984) no Quadro 4.

Quadro 4 – Medidas para Mitigação dos Impactos da Contaminação por Metais Pesados nos Ecossistemas

Medida de Controle	Descrição Detalhada	Objetivo

Contenção de Áreas Contaminadas	Isolamento de áreas contaminadas por meio de barreiras físicas ou químicas para evitar a dispersão de metais pesados.	Impedir a contaminação de outros ambientes e recursos hídricos.
Remediação de Solos Contaminados	Processos físicos, químicos ou biológicos para remover, imobilizar ou destruir metais pesados em solos contaminados.	Reducir o risco de lixiviação para as águas subterrâneas e superficiais.
Controle da Erosão	Adoção de práticas conservacionistas como terraceamento e cobertura vegetal para reduzir o transporte de sedimentos contaminados.	Minimizar o transporte de metais pesados associados aos sedimentos para os corpos d'água.
Restauração de Áreas Degradadas	Recuperação de áreas impactadas por atividades industriais, incluindo a remoção ou imobilização de metais pesados.	Reestabelecer a qualidade ambiental e os ecossistemas degradados.
Monitoramento Ambiental	Análise regular da qualidade da água, sedimentos e biota para avaliar a eficácia das medidas de controle e identificar novas autores de contaminação.	Avaliar a eficácia das medidas de controle e detectar novas autores de contaminação.

Autor: Adaptado de Salomons e Förstner (1984)

O monitoramento da qualidade da água e a identificação dos autores de contaminações são essenciais para o controle da poluição por metais pesados. As técnicas analíticas utilizadas para a determinação de metais pesados na água são diversas e cada uma apresenta suas vantagens e limitações.

A Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) é uma técnica amplamente utilizada para a determinação de metais em amostras aquáticas. Ela se baseia na absorção de radiação eletromagnética por átomos livres em fase gasosa. A AAS com chama é a técnica mais simples e econômica, enquanto a AAS com forno de grafite oferece maior sensibilidade e menor limite de detecção (Soog, Holler e Crouch, 2002).

Espectrometria de Massa (MS) é uma técnica poderosa que permite a

identificação e quantificação de elementos e compostos em níveis de traço. A acoplamento da MS com técnicas de separação, como a cromatografia líquida (LC-MS) e a cromatografia gasosa (GC-MS), permite a análise de espécies químicas mais complexas, como as formas organometálicas na análise ambiental (Hoffmann, 1999).

Voltametria: A voltametria é uma técnica eletroanalítica que permite a determinação de metais pesados em amostras aquáticas. Ela se baseia na medida da corrente elétrica resultante de reações de oxidação-redução na superfície de um eletrodo. A voltametria de pulso diferencial é uma das técnicas mais utilizadas, devido à sua alta sensibilidade e seletividade (Bard e Faulkner, 2001).

Além das técnicas mencionadas, outras metodologias podem ser utilizadas para a determinação de metais pesados em água, como a fluorescência de raios X e a indutivamente *coupled plasma optical emission spectrometry* (ICP OES). A escolha da técnica mais adequada dependerá da natureza da amostra, dos metais a serem determinados e dos limites de detecção requeridos.

3.5.3.9 Compostos Orgânicos

A presença de compostos orgânicos na água é um problema ambiental cada vez mais relevante, com implicações significativas para a saúde humana e para os ecossistemas aquáticos. Conforme afirmam Metcalf e Eddy (2003), "a presença de compostos orgânicos na água pode indicar a presença de poluição e pode afetar a qualidade da água para diversos usos".

As autores de contaminação por compostos orgânicos na água são diversas e incluem: a indústria química, petroquímica, farmacêutica e de pesticidas são as principais. Autores de compostos orgânicos sintéticos nos corpos d'água. Schwarzenbach *et al.* (2003) destacam a importância das atividades industriais como Autores pontuais de contaminação por compostos orgânicos persistentes (POPs) – Conforme Quadro 05.

Quadro 05 – Autores Pontuais de Contaminação por Compostos Orgânicos Persistentes

Autor de Contaminação	Descrição Detalhada
Agricultura	Utilização de pesticidas, herbicidas e fertilizantes nitrogenados, resultando na lixiviação desses compostos para os corpos d'água.

Efluentes Domésticos e Industriais	Descarga de efluentes contendo uma variedade de compostos orgânicos, como detergentes, fármacos e hormônios. Metcalf & Eddy (2003) destacam a importância do tratamento adequado para remover esses contaminantes.
Lixiviados de Aterros Sanitários	Líquido contaminado gerado pela decomposição do lixo em aterros sanitários, contendo altas concentrações de compostos orgânicos.

Autor: Metcalf e Eddy (2003)

A exposição a compostos orgânicos pode causar diversos problemas de saúde em humanos, incluindo câncer, distúrbios endócrinos e problemas reprodutivos. Conforme detalhado no Quadro 06, a Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (ATSDR, 2004) apresenta uma extensa revisão dos efeitos toxicológicos desses compostos, destacando a importância da prevenção e do controle da exposição a esses contaminantes.

Quadro 06 - Impacto dos Compostos Orgânicos Nos ecossistemas aquáticos

Autor de Contaminação	Descrição Detalhada	Principais Compostos Orgânicos	Impactos Ambientais	Medidas de Controle
Agricultura	Utilização de pesticidas, herbicidas, fertilizantes nitrogenados, resultando na lixiviação desses	Pesticidas organofosforados, etriazinas, nitratos	Eutrofização, toxicidade para organismos aquáticos, bioacumulação	Uso de práticas agrícolas sustentáveis, como rotação de culturas, adubação verde e controle biológico de pragas.

Efluentes Domésticos e Industriais	Compostos para os corpos d'água. Descarga de efluentes contendo uma variedade de compostos orgânicos, como detergentes, fármacos e hormônios.	Detergentes, fármacos (antibióticos, hormônios), compostos fenólicos	Contaminação microbiológica, disruptão endócrina, toxicidade para organismos aquáticos	Tratamento de efluentes, coleta e tratamento de esgoto, para legislação ambiental rigorosa.
Lixiviados de Aterros Sanitários	Líquido contaminado gerado pela decomposição de lixo em aterros sanitários, contendo altas concentrações de compostos orgânicos.	Compostos orgânicos voláteis (COVs), metais pesados, compostos orgânicos persistentes (POPs)	Contaminação do solo e das águas subterrâneas, emissão de gases do efeito estufa	Isolamento e tratamento de lixiviados, impermeabilização da base do aterro, monitoramento constante.
Indústrias	Efluentes de indústrias químicas, petroquímicas e alimentícias.	Solventes orgânicos, hidrocarbonetos, compostos fenólicos, corantes	Contaminação de rios e estuários, toxicidade para organismos aquáticos, bioacumulação	Tratamento de efluentes industriais, legislação ambiental específica para cada setor.

Atividades de Mineração	Drenagem ácida de minas, sedimentos contaminados.	Metais pesados, compostos sulfurados	Acidificação de corpos d'água, toxicidade para organismos aquáticos, alteração da qualidade da água	Tratamento da drenagem ácida, remediação de áreas degradadas, da monitoramento ambiental.
--------------------------------	---	--------------------------------------	---	---

Autor: Adaptado de Agência para Substâncias Tóxicas e Registro de Doenças (2004).

3.5.3.10 Polaridade da Molécula de Água

A molécula de água (H_2O) possui uma geometria angular, com o átomo de oxigênio, mais eletronegativo, atraindo os elétrons das ligações covalentes para si. Isso gera uma distribuição desigual de cargas, formando um dipolo elétrico. As consequências dessa polaridade são diversas: a água adquire a capacidade de formar ligações de hidrogênio com outras moléculas polares e íons, o que explica muitas de suas propriedades únicas, como a alta tensão superficial, o elevado ponto de ebulição e a capacidade de dissolver uma vasta gama de substâncias. Como afirma ATKINS (2012), "a polaridade da água é a chave para entender suas propriedades e seu papel fundamental na vida".

A formação dessas ligações de hidrogênio entre as moléculas de água confere a ela uma alta coesão, resultando em uma elevada tensão superficial. Segundo LEVINE (2009), "a tensão superficial da água permite que insetos caminhem sobre a superfície da água e que a água se move por capilares, como os vasos das plantas".

A polaridade da água também justifica sua notável capacidade de dissolver substâncias iônicas e polares. CHANG (2010) ressalta que "a água é conhecida como o solvente universal devido à sua capacidade de formar hidratos com íons e de interagir com moléculas polares através de ligações de hidrogênio".

Além disso, o alto calor específico da água, também decorrente das ligações de hidrogênio, contribui para a regulação térmica dos organismos e do planeta. ATKINS e JONES (2012) afirmam que a água atua como um termorregulador, absorvendo grandes quantidades de calor sem que sua temperatura varie significativamente.

3.5.3.11 Capacidade de Dissolução

A água é frequentemente chamada de "solvente universal" devido à sua capacidade de dissolver uma grande variedade de substâncias, tanto polares quanto iônicas. Como afirma Atkins (2012), a água é o solvente mais abundante e importante na Terra, e sua capacidade de dissolver uma grande variedade de substâncias é fundamental para a vida.

A polaridade da água permite que ela interaja com íons e moléculas polares, separando-os e dispersando-os em solução. Segundo Levine (2009), a água é um dipolo elétrico, o que significa que possui uma região com carga positiva e outra com carga negativa. Essa característica permite que a água interaja com íons e moléculas polares, formando ligações de hidrogênio.

A água solvata os íons, envolvendo-os em uma camada de moléculas de água, o que estabiliza a solução. Chang (2010) explica que a solvatação dos íons é um processo exotérmico, o que significa que libera energia e favorece a dissolução.

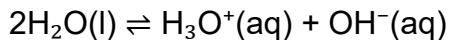
A importância da capacidade de dissolver substâncias é fundamental para os processos biológicos, como o transporte de nutrientes nas células e a regulação da temperatura corporal. Campbell e Reece (2002) destacam que a água é o meio no qual ocorrem a maioria das reações químicas nas células, e sua capacidade de dissolver uma grande variedade de substâncias é essencial para o transporte de nutrientes e a remoção de resíduos.

A água desempenha um papel crucial na manutenção da homeostase dos organismos. Alberts *et al.* (2002) afirmam que a água é essencial para a regulação da temperatura corporal, pois possui um alto calor específico, o que permite que ela absorva grandes quantidades de calor sem que sua temperatura aumente significativamente.

3.5.3.12 Ionização da Água

A água pura, embora seja considerada um composto neutro, apresenta uma característica peculiar: a autoionização. Nesse processo, moléculas de água reagem entre si, formando íons hidrônio (H_3O^+) e hidroxila (OH^-) em pequenas quantidades. Essa propriedade intrínseca da água é fundamental para compreender a química de soluções aquosas.

A equação que representa a autoionização da água é a seguinte:



O produto iônico da água (K_w) é uma constante de equilíbrio que relaciona as concentrações dos íons hidrônio e hidroxila em uma determinada temperatura. A 25°C, seu valor é aproximadamente $1,0 \times 10^{-14}$ mol²/L². Conforme Le Chatelier (1888), ao perturbarmos um sistema em equilíbrio, como a autoionização da água, o sistema tenderá a se ajustar de forma a minimizar a perturbação.

$$K_w = [\text{H}_3\text{O}^+][\text{OH}^-] = 1,0 \times 10^{-14} \text{ (a } 25^\circ\text{C})$$

A escala de pH foi proposta por Sørensen (1909) como uma forma prática de expressar a acidez ou basicidade de uma solução aquosa. O pH é definido como o logaritmo negativo da concentração de íons hidrônio:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+]$$

- Soluções ácidas: Apresentam pH menor que 7 e concentração de H_3O^+ maior que OH^- ;
- Soluções neutras: Apresentam pH igual a 7 e concentrações iguais de H_3O^+ e OH^- ;
- Soluções básicas: Apresentam pH maior que 7 e concentração de OH^- maior que H_3O^+ .

3.5.3.13 Reações de Ácido-Base

As reações ácido-base constituem um dos pilares da química, sendo fundamentais para a compreensão de diversos fenômenos naturais e processos industriais. A história da química ácido-base é marcada por diferentes teorias, cada uma contribuindo para uma visão mais aprofundada desses processos.

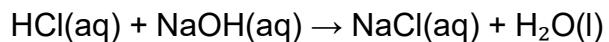
Uma das primeiras teorias, proposta por Svante Arrhenius no final do século XIX, definiu ácidos como substâncias que, em solução aquosa, liberam íons hidrogênio (H^+) e bases como substâncias que liberam íons hidroxila (OH^-). Arrhenius (1887) descreveu a neutralização como a reação entre um ácido e uma base, formando água e um sal.

Johannes Brønsted e Thomas Lowry, independentemente, propuseram uma teoria mais abrangente, definindo ácidos como doadores de prótons e bases como aceptores de prótons. Brønsted (1923) e Lowry (1923) destacaram que a natureza ácido-base é relativa e depende do meio reacional, introduzindo o conceito de pares conjugados ácido-base.

Lewis ampliou ainda mais o conceito de ácido-base, definindo ácidos como aceptores de pares de elétrons e bases como doadores de pares de elétrons. Lewis (1923) mostrou que a teoria de Brønsted-Lowry é um caso especial da sua teoria mais geral.

3.5.3.14 Reações de Neutralização

A reação de neutralização é um dos tipos mais comuns de reações ácido-base. Nessa reação, um ácido reage com uma base, formando um sal e água. Arrhenius (1887) descreveu a neutralização como a reação entre um ácido e uma base, formando água e um sal. Exemplo de uma reação de neutralização:



Indicadores ácido-base são substâncias que mudam de cor dependendo do pH do meio. Ostwald (1891) realizou estudos pioneiros sobre a teoria da ionização e a aplicação de indicadores ácido-base em titulações. De acordo com o Quadro 07, podemos observar algumas aplicações.

Quadro 07 - Determinação da concentração de ácidos e bases e algumas aplicações

Aplicação	Descrição Detalhada	Exemplos
Titulações	Processo de determinação da concentração de uma solução ácida ou básica através da neutralização com uma solução padrão de concentração conhecida.	Titulação ácido-base para determinar a acidez do vinagre, titulação alcalimétrica para análise de solos.

Produção de Sais	Reação entre um ácido e uma base, resultando na formação de um sal e água.	Produção de cloreto de sódio (sal de cozinha) a partir da reação entre ácido clorídrico e hidróxido de sódio.
Ajuste de pH	Controle do pH de uma solução para otimizar processos químicos, biológicos ou industriais.	Ajuste do pH de piscinas, tratamento de água, processos de fermentação.
Digestão	O suco gástrico, rico em ácido clorídrico (HCl), desempenha um papel fundamental na quebra de proteínas e na ativação de enzimas digestivas.	Digestão de proteínas no estômago.
Tampões	Soluções que resistem a variações de pH, mantendo o pH relativamente constante mesmo com a adição de pequenas quantidades de ácido ou base.	Sistema tampão bicarbonato no sangue, tampões em soluções de limpeza.

Autor: Adaptado de Johannes Brønsted e Thomas Lowry (1923)

3.5.3.15 Propriedades Térmicas

A água, substância fundamental para a vida na Terra, possui propriedades térmicas únicas que a distinguem de outros líquidos. Essas propriedades são cruciais para a regulação do clima global, para a vida marinha e para diversos processos industriais.

Uma das propriedades térmicas mais marcantes da água é seu alto calor específico. Isso significa que a água pode absorver ou liberar uma grande quantidade de calor com uma pequena variação de temperatura. Tyndall (1863) foi um dos primeiros cientistas a destacar a importância do calor específico da água para a regulação do clima terrestre. Em virtude de sua grande capacidade para calor, é em grande parte a reguladora do clima da Terra.” – John Tyndall (1863).

Essa propriedade é devida às fortes ligações de hidrogênio que unem as moléculas de água, exigindo uma quantidade significativa de energia para romper essas ligações e aumentar a energia cinética das moléculas.

A água também possui altos valores de calor latente de fusão e vaporização. Isso significa que ela requer uma grande quantidade de energia para mudar de estado

físico, seja do sólido para o líquido (fusão) ou do líquido para o gasoso (vaporização). Black (1761) foi pioneiro nos estudos sobre calor latente, e seus trabalhos foram fundamentais para a compreensão dos processos de mudança de fase.

“A quantidade de calor necessária para converter uma substância de um estado para outro é uma quantidade definida e característica para cada substância.” – Joseph Black (1761).

A água apresenta uma densidade máxima a 4°C. Ao se resfriar abaixo dessa temperatura, a água se expande, o que explica por que o gelo flutua na água líquida. Roentgen (1892) realizou experimentos detalhados sobre a densidade da água em diferentes temperaturas, contribuindo para a compreensão dessa propriedade anômala.

Segundo Wilhelm Röntgen (1892) a anomalia da densidade da água é um fenômeno fundamental para a vida aquática e para os processos geológicos.

As propriedades térmicas da água têm diversas implicações importantes, como mostra o Quadro 08.

Quadro 08 – Propriedades térmicas da água e suas diversas implicações

Propriedade	Implicação	Exemplo
Alta capacidade térmica	Regulação do clima: Os oceanos absorvem grandes quantidades de calor durante o dia e liberam esse calor durante a noite, ajudando a moderar as temperaturas globais e a prevenir grandes variações climáticas.	Correntes marítimas distribuem o calor pelo planeta, influenciando os padrões climáticos regionais.
	Vida marinha: A alta capacidade térmica da água permite que os oceanos mantenham temperaturas relativamente constantes, criando um ambiente estável para o desenvolvimento de uma grande variedade de organismos marinhos.	Os recifes de coral, por exemplo, necessitam de temperaturas relativamente constantes para sobreviver.
	Processos industriais: A água é amplamente utilizada como fluido de refrigeração em usinas termoelétricas, indústrias químicas e metalúrgicas, devido à sua capacidade de absorver grande量 de calor.	Em usinas nucleares, a água é utilizada para resfriar o reator nuclear, evitando o

	absorver grandes quantidades de calor sem superaquecimento. que sua temperatura aumente significativamente.	
Alto calor latente de fusão e vaporização	Regulação do clima: A evaporação da água dos oceanos absorve uma grande quantidade de calor, contribuindo para a formação de nuvens e precipitações, e influenciando os padrões climáticos globais.	O ciclo hidrológico, impulsionado pelo calor solar, regula o clima global.
	Vida marinha: O alto calor latente de fusão impede que os lagos e rios congelem completamente durante o inverno, permitindo a sobrevivência de organismos aquáticos.	A formação de gelo marinho isola a água abaixo, criando um ambiente estável para algumas espécies marinhas.
	Agricultura: A evaporação da água do solo absorve calor, ajudando a resfriar o ambiente e a evitar o superaquecimento das plantas.	A irrigação é fundamental para a agricultura, pois a água ajuda a regular a temperatura do solo e a fornecer umidade para as plantas.

Autor: Adaptado de Wilhelm Röntgen (1892)

3.5.3.16 Outras Propriedades

A água, substância essencial para a vida na Terra, apresenta propriedades únicas que a tornam singular entre os líquidos. Dentre essas propriedades, a tensão superficial e a capilaridade desempenham um papel fundamental em diversos fenômenos naturais e processos tecnológicos.

A tensão superficial da água é uma propriedade que faz com que a superfície do líquido se comporte como uma membrana elástica. Essa característica é resultado das fortes ligações de hidrogênio entre as moléculas de água na interface líquido-ar. Laplace (1805) foi um dos primeiros cientistas a descrever matematicamente a tensão superficial, relacionando-a à curvatura da superfície livre de um líquido. Laplace (1805), afirma que a força que mantém as partículas de um líquido unidas é a mesma que causa os fenômenos da capilaridade.

A tensão superficial e a capilaridade são propriedades fundamentais da água que desempenham um papel crucial em diversos fenômenos naturais e processos tecnológicos. A compreensão dessas propriedades é essencial para diversas áreas do conhecimento, como a física, a química, a biologia e a engenharia. Os Quadros 09, 10 e 11 mostram respectivamente a capilaridade e suas aplicações, os fatores que influenciam a tensão superficial, capilaridade, detalhamento das aplicações da tensão superficial e da capilaridade.

Quadro 09 – Capilaridade e suas Aplicações

Fenômeno	Descrição	Exemplos	Fatores que influenciam	Aplicações
Capilaridade	Ascensão ou depressão de um líquido em um tubo fino devido à interação entre as moléculas do líquido e as paredes do tubo.	Ascensão da seiva das plantas, absorção de água pelo solo, mechado de pavios.	Tensão superficial, raios do tubo, ângulo de contato.	Indústria alimentícia, medicina, agricultura.
Tensão Superficial	Força que age na superfície de um líquido, tendendo a minimizá-la.	Formação de gotas, insetos caminhando sobre água.	Temperatura, substâncias dissolvidas.	Indústria alimentícia, medicina.

Autor: Adaptado de Laplace (1805)

Quadro 10 – Os fatores que influenciam a tensão superficial e a capilaridade

Fator	Efeito	Explicação
Temperatura	Diminui com o aumento da temperatura.	O aumento da energia cinética das moléculas enfraquece as ligações intermoleculares.
Substâncias dissolvidas	Pode aumentar ou diminuir.	Depende da natureza da substância dissolvida e de sua interação com as moléculas do líquido.

Raio do tubo	A altura de ascensão é inversamente proporcional ao raio.	Em tubos mais finos, as forças capilares são mais intensas.
Ângulo de contato	Influencia a altura de ascensão.	Ângulos de contato menores favorecem a ascensão do líquido.

Autor: Adaptado de Laplace (1805)

Quadro 11 – Detalhamento das aplicações da tensão superficial e da capilaridade

Área	Aplicações
Indústria alimentícia	Produção de espumas (suspensões de gás em um líquido), emulsificação de óleos e água (maionese), controle da textura de produtos como sorvetes e pães.
Medicina	Transporte de líquidos nos vasos sanguíneos, formação de bolhas de sabão em tratamentos respiratórios, uso de líquidos capilares em testes diagnósticos.
Agricultura	Absorção de água pelas raízes das plantas, irrigação por gotejamento, controle da umidade do solo.
Outras	Tintas e revestimentos, fabricação de papel, limpeza de superfícies, produção de têxteis.

Autor: Adaptado de Laplace (1805)

3.5.4 A importância das propriedades químicas da água

A água, molécula fundamental para a existência da vida na Terra, possui propriedades químicas únicas que a tornam um solvente universal e um meio ideal para as reações bioquímicas. Bernal (1967), em seu clássico “The Physical Basis of Life”, destacou a água como o solvente da vida, enfatizando sua importância para a estrutura e função das biomoléculas.

A polaridade da água, resultado da distribuição desigual de carga em sua molécula, confere a ela a capacidade de formar ligações de hidrogênio com outras moléculas polares e iônicas. Pauling (1960), em sua obra “*The Nature of the Chemical Bond*”, explorou em profundidade as ligações de hidrogênio e sua importância para as propriedades da água, conforme Quadro 12 a seguir.

Quadro 12 – Essencialidade da Água

Propriedade da Água	Descrição	Importância Biológica	Exemplos
Capacidade de formar ligações de hidrogênio	As moléculas de água, por serem polares, formam ligações de hidrogênio entre si e com outras moléculas.	Confere à água alta coesão, capacidade térmica e altapolaridade, tornando-a polares.	
Poder de Solubilização	A água dissolve uma grande variedade de substâncias, tanto polares quanto iônicas.	Essencial para o transporte de nutrientes, gases e excretas nos organismos, tanto sólidos quanto vivos.	Dissolução de açúcares, gases como oxigênio e dióxido de carbono.
Meio para reações bioquímicas	A maioria das reações químicas que ocorrem nos seres vivos em meio aquoso.	Permite a ocorrência de processos vitais como digestão, respiração celular e fotossíntese.	Digestão de alimentos no estômago, produção de ATP nas mitocôndrias.

Autor: Adaptado Pauling (1960)

Lehninger (1975), em seu livro “*Principles of Biochemistry*”, descreveu em detalhes o papel da água nas reações bioquímicas, como a hidrólise e a condensação. Também afirma que a água é o meio no qual a maioria das reações bioquímicas ocorre, e ela participa ativamente dessas reações.” A seguir o quadro 13.

Quadro 13 – Papel da Água nas Reações Bioquímicas

Função da Água	Descrição Detalhada	Exemplos de Reações	Importância Biológica
Regente	Participa diretamente comoreagente em diversas reações químicas, fornecendo ou removendo prótons (H^+) e, assim, alterando a estrutura e a função de moléculas biológicas.	Hidrólise de ligações peptídicas em proteínas, hidrólise de ligações glicosídicas em polissacarídeos.	Essencial para a digestão, metabolismo e catabolismo de biomoléculas.
Solvente	Dissolve uma ampla variedade de substâncias polares e iônicas, criando um meio aquoso onde as reações bioquímicas ocorrem.	Dissolução de sais minerais, gases (como O_2 e CO_2), biomoléculas (proteínas, ácidos nucleicos).	Permite a interação entre os reagentes, facilitando a reunião das reações e o transporte das substâncias dentro das células e organismos.
Estabilizador	Contribui para a estabilidade conformacional de biomoléculas, como proteínas e ácidos nucleicos, através da formação de ligações de hidrogênio.	Manutenção da estrutura tridimensional de proteínas, estabilização da dupla hélice do DNA.	Essencial para o funcionamento de biomoléculas e para a manutenção da estrutura celular.

Autor: Adaptado Lehninger, 1975

A alta capacidade calorífica da água permite que ela absorva grandes quantidades de calor com pequenas variações de temperatura. Allen (1970), em seu estudo sobre a ecofisiologia dos animais, destacou a importância da água na termorregulação, conforme Quadro 14 – Regulação Térmica e Transporte de Substâncias.

Quadro 14 - Regulação Térmica e Transporte de Substâncias.

Função da Água	Descrição Detalhada	Exemplos e Aplicações
Regulação Térmica	A água possui um alto calor específico, o que significa que ela pode absorver ou liberar grandes quantidades de calor com pequenas variações de temperatura.	Organismos: A sudorese nos mamíferos e a transpiração nas plantas são mecanismos de resfriamento que utilizam a evaporação da água. Clima: Os oceanos absorvem o calor durante o dia e o liberam durante a noite, moderando as temperaturas globais.
Transporte de Substâncias	A água, por ser um solvente polar, dissolve uma grande variedade de substâncias, facilitando seu transporte dentro dos organismos.	Nutrientes: Transporte de açúcares, aminoácidos e sais minerais nas plantas e animais. Gases: Transporte de oxigênio e dióxido de carbono no sangue. Excretas: Remoção de produtos do metabolismo, como ureia e amônia, através da urina.

Autor: Adaptado de Allen, 1970.

3.6 PROPRIEDADES BIOLÓGICAS DA ÁGUA

De acordo com Lehninger (1975), a água, além de suas propriedades físicas e químicas, possui características que a tornam essencial para a manutenção da vida. Sua estrutura molecular única e suas propriedades físicas conferem à água um papel central em diversos processos, conforme Quadro 15 a seguir.

Quadro 15 – Propriedades Biológicas da Água

Propriedade da Água	Descrição Detalhada	Funções Biológicas
Coesão	Atração entre moléculas de água devido às ligações de hidrogênio.	Ascensão da seiva bruta: Formação de uma coluna contínua de água nos vasos do xilema. Manutenção da forma celular: Ajuda a manter a forma das células.

Adesão	Atração entre moléculas de água e outras substâncias polares.	Capilaridade: Ascensão da água em tubos estreitos (como os vasos do xilema). Lubrificação: Facilita o movimento de substâncias em tecidos e órgãos.
Lubrificação	Capacidade de reduzir o atrito entre superfícies.	Articulações: Diminui o atrito entre as cartilagens, facilitando o movimento. Órgãos internos: Facilita o deslizamento de órgãos, como os pulmões.
Tensão superficial	Força que age na superfície de um líquido, tendendo a minimizá-la.	Formação de gotas: Facilita o transporte de água em plantas e a formação de pequenas gotas de água. Habitat: Cria uma película na superfície da água, permitindo que pequenos organismos vivam sobre ela.

Autor: Adaptado de Lehninger (1975)

3.6.1 Propriedades Microbiológicas da Água

A água, essencial para toda forma de vida, possui propriedades físicas e químicas que a tornam um solvente universal e um meio ideal para as reações bioquímicas. No entanto, a água também serve como habitat para uma vasta gama de microrganismos, conferindo-lhe características microbiológicas que podem ser tanto benéficas quanto prejudiciais.

A água, em seus diversos estados (líquido, sólido e gasoso), abriga uma diversidade de microrganismos, incluindo bactérias, vírus, protozoários e fungos. Brock (1978), em seu livro "Microbiologia", destaca a ubiquidade dos microrganismos aquáticos e sua importância para os ecossistemas.

Brock (1978) afirma: "A água é o habitat mais antigo e mais abundante da Terra, e os microrganismos são os seus habitantes mais antigos e mais abundantes." Abaixo o Quadro 16 que descreve alguns fatores que podem influenciar na presença de microrganismos na água.

Quadro 16 – Fatores que influenciam na presença de microrganismo na água.

Fator	Impacto na Presença de Microrganismos	Explicação Detalhada
Temperatura	A temperatura da água influencia diretamente a taxa metabólica dos microrganismos. Temperaturas ótimas, mínimas e máximas variam entre as diferentes espécies.	Temperaturas mais elevadas geralmente aceleram o crescimento microbiano, enquanto temperaturas muito baixas ou altas podem inibir ou até mesmo matar os microrganismos.
pH	O pH da água afeta a atividade das enzimas microbianas e a solubilidade de nutrientes. Cada microrganismo possui um pH ótimo para seu crescimento.	Um pH muito ácido ou alcalino pode desnaturar as proteínas e inibir o crescimento microbiano.
Salinidade	A concentração de sais dissolvidos na água influencia a pressão osmótica e a capacidade dos microrganismos de regular seu conteúdo de água.	Microrganismos halófilos toleram altas concentrações de sal, enquanto outros são sensíveis e podem ser inibidos em ambientes salinos.
Disponibilidade de Nutrientes	A presença de matéria orgânica na água fornece uma fonte de carbono e outros nutrientes essenciais para o crescimento microbiano.	Quanto maior a quantidade de matéria orgânica disponível, maior o potencial de crescimento microbiano.

Autor: Adaptado de Brock (1978)

A qualidade microbiológica da água é de fundamental importância para a saúde pública, pois a água contaminada pode transmitir diversas doenças, como cólera, febre tifoide, hepatite A e giardíase. Madigan *et al.* (2000), em seu livro "Brock - Biology of Microorganisms", enfatizam a importância da análise microbiológica da água para garantir a segurança do abastecimento.

Para avaliar a qualidade microbiológica da água, são utilizados indicadores de contaminação, como os coliformes totais e as *Escherichia coli*. Fetter (1999), em seu

livro "Applied Hydrogeology", explica que a presença desses indicadores sugere a possibilidade de contaminação por outros patógenos.

A citação de Charles W. Fetter destaca a importância dos coliformes totais e da *Escherichia coli* como indicadores de contaminação fecal em recursos hídricos. Essa afirmação, fundamentada em décadas de pesquisa, reflete a relevância desses microrganismos na avaliação da qualidade da água e na proteção da saúde pública. O Quadro 17 a seguir, oferece uma visão geral dos coliformes totais e *Escherichia coli*; e o Quadro 18 detalha as vantagens e limitações dos coliformes totais como indicador da presença de outros patógenos.

Quadro 17 – Visão Geral coliformes totais e *Escherichia coli*:

Característica	Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
Definição	Grupo de bactérias Gram-negativas, fermentadoras de lactose, aeróbias ou anaeróbias facultativas.	Espécie específica de bactéria, pertencente à família Enterobacteriaceae, fermentadora de lactose e produtora de gás.
Origem	Intestino de animais de sangue quente, solo, vegetação.	Predominantemente intestino de animais desangue quente, especialmente humanos.
Significado clínico	Indica contaminação fecal recente ou passada.	Indica contaminação fecal recente, especialmente de origem humana.
Vantagens como indicador	Abundante nas fezes, resistente a condições ambientais, fácil de detectar.	Mais específico para contaminação fecal humana, resistente a condições ambientais, fácil de detectar.
Limitações como indicador	Não indica necessariamente a presença de patógenos, pode estar presente em ambientes não fecais.	Não quantifica a carga de patógenos, pode estar presente em alguns alimentos processados.

Autor: Adaptado de Fetter (1999)

Quadro 18 - Vantagens e Limitações dos Indicadores Coliformes Totais e *Escherichia coli*

Característica	Coliformes Totais	Escherichia coli	Vantagens como Indicador	Limitações como Indicador
Definição	Grupo heterogêneo de bactérias Gram- negativas, fermentadoras de lactose, aeróbias ou anaeróbias facultativas.	Espécie específica pertencente à família Enterobacteriaceae, fermentadora de lactose e produtora de gás.	Abundante nas fezes, resistente a condições ambientais, fácil de detectar.	Não indica necessariamente a presença de patógenos, pode estar presente em ambientes não fecais.
Origem	Intestino de animais de sangue quente, solo, vegetação.	Predominantemente intestino de animais de sangue quente, especialmente humanos.	Mais específico para contaminação fecal humana.	Não quantifica a carga de patógenos, pode estar presente em alguns alimentos processados.
Significado clínico	Indica contaminação fecal recente ou passada.	Indica contaminação fecal recente, especialmente de origem humana.		
Relação com patógenos	Co-ocorrem com patógenos entéricos devido à origem fecal comum e similaridade em termos de resistência.	Fortemente associada à presença de patógenos entéricos.		

Métodos de detecção	NMP, métodos cromogênicos, fluorogênicos.	Métodos específicos para <i>E. coli</i> , como testes de fermentação de lactose e produção de gás.	Rápida e fácil detecção.	
----------------------------	---	--	--------------------------	--

Autor: Fetter (1999)

3.7 POLÍMEROS E A POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

A produção em massa de polímeros, ou plásticos, revolucionou diversos setores da indústria, mas trouxe consigo sérios problemas ambientais, em particular a poluição das águas. A persistência dos polímeros no ambiente, combinada com sua fragmentação em micro e nanopartículas, representa uma ameaça crescente para ecossistemas aquáticos e a saúde humana.

Uma das principais características dos polímeros é sua baixa taxa de degradação natural. Geyer; Jambeck; Law (2017), em estudo seminal, destacaram a acumulação de plásticos nos oceanos e a lentidão de sua degradação. Os autores enfatizam que a maior parte do plástico produzido nunca é reciclada e se acumula em aterros sanitários ou no meio ambiente.

A exposição dos polímeros ao sol, ondas e outros fatores ambientais leva à sua fragmentação em partículas cada vez menores, conhecidas como micro e nanoplásticos. Thompson *et al.* (2004) foram pioneiros em demonstrar a presença de microplásticos em organismos marinhos.

A presença de micro e nanoplásticos nos ambientes aquáticos tem sido associada a diversos impactos negativos sobre a vida aquática. O Quadro 19, incluindo alguns destes impactos.

Quadro 19 – Impactos causados por micro e nanoplásticos nos ambientes aquáticos.

Impacto	Descrição Detalhada
Ingestão	Os microplásticos, devido à sua semelhança com partículas de alimento, são frequentemente ingeridos por diversos organismos marinhos, desde pequenos zooplânctons até grandes peixes e aves marinhas.

Absorção de Contaminantes	A superfície dos microplásticos possui uma grande capacidade de adsorver substâncias tóxicas presentes no ambiente marinho, como metais pesados e pesticidas. Ao serem ingeridos, esses contaminantes são transferidos para os tecidos dos organismos, amplificando seus efeitos tóxicos.
Danos Físicos	A presença de microplásticos no trato digestivo pode causar obstruções, perfurações, lesões nos tecidos e inflamações. Além disso, a fragmentação dos plásticos no interior do organismo pode liberar partículas ainda menores, aumentando a área de superfície disponível para a adsorção de contaminantes.
Disrupção Endócrina	Muitos plásticos contêm aditivos químicos, como bisfenol A (BPA) e ftalatos, que podem agir como disruptores endócrinos, interferindo no sistema hormonal dos organismos marinhos. Isso pode levar a uma série de problemas de saúde, como alterações no desenvolvimento, reprodução e comportamento.

Autor: adaptado de Van Cauwenberghe (2015)

Segundo Van Cauwenberghe *et al.* (2015), a proliferação de polímeros nos ambientes aquáticos representa um dos maiores desafios ambientais do século XXI. A persistência desses materiais e a sua fragmentação em micro e nanopartículas têm consequências significativas para a biodiversidade, os ecossistemas e a saúde humana. A seguir o quadro 20.

Quadro 20 – Medidas Mitigadoras Poluição por Plásticos

Tópico	Informação	Referência
Desafio da Poluição por Plásticos	A poluição por plásticos é um problema global que exige ações coordenadas em diferentes níveis.	
Medidas Mitigadoras	Redução do consumo: incentivar o uso de alternativas sustentáveis. Melhoria da gestão de resíduos: implementar sistemas eficientes de coleta, triagem e reciclagem.	GESAMP (2016)

	Desenvolvimento de novos materiais: investir em pesquisa e desenvolvimento de materiais biodegradáveis e compostáveis.	
	Limpeza dos oceanos: desenvolver tecnologias para a remoção de plásticos dos oceanos.	
Tempo de Decomposição de Plásticos	Material	Tempo Estimado de Decomposição
	Saco plástico	20 anos
	Copo de isopor	50 anos
	Canudo plástico	200 anos
	Garrafa PET	450 anos
	Fralda descartável	450 anos
	Linha de pesca	600 anos

Fonte: GESAMP (2016)

Segundo Van Cauwenberghe *et al.* (2015), a proliferação de polímeros nos ambientes aquáticos representa um dos maiores desafios ambientais do século XXI. A persistência desses materiais e a sua fragmentação em micro e nanopartículas têm consequências significativas para a biodiversidade, os ecossistemas e a saúde humana. A seguir o quadro 21.

Para responder a essa problemática ambiental, uma abordagem pedagógica investigativa foi desenvolvida. O quadro 21 detalha as etapas da Sequência Didática de Aprendizagem Baseada na Experimentação criada para este projeto, utilizando o contexto da poluição do Rio Capibaribe para guiar os estudantes desde a problematização inicial até a proposição de soluções.

Quadro 21 – Etapas da Aprendizagem Baseada em Experimentação com Contextualização Sociocultural.

Etapa da Aprendizagem Baseada na Experimentação	Objetivo de Aprendizagem	Contextualização (Exemplos)	Instrumentos	Tempo	Fundamentação Teórica
1. Apresentação do tema	Relacionar a poluição do Rio Capibaribe a conceitos químicos (pH, metais pesados, orgânicos).	Discussão sobre o uso de agrotóxicos na agricultura local e seus impactos no rio.	Fotos do rio, dados de análises químicas, Reportagens locais.	20 min	Galiazzi & Gonçalves (2004): Contextualização cultural e política.
2. Divisão em grupos	Formar equipes para investigar problemas específicos (ex.: contaminação por esgoto doméstico).	Mapeamento de áreas de risco no entorno da escola.	Mapas da região, papel, caneta.	10 min	Johnson & Johnson (1999): Cooperação em grupos.
3. Questão motriz	Elaborar perguntas como: "Como o esgoto não tratado altera a química do rio?"	Debate sobre a falta de saneamento básico na comunidade.	Vídeos de depoimentos de moradores.	30 min	Jacobi (2005): Problemas socioambientais críticos.
4. Visita ao rio	Coletar amostras de água e observar fontes de poluição.	Identificação de pontos de descarte irregular (lixo, produtos químicos).	Kits de coleta, celular para registro.	01 Hora	Genç (2014): Experiência <i>in loco</i> como sensibilização.
5. Orientação estruturada	Definir metodologias para análise	Relação entre fertilizante	Protocolos de experimento	01 hora	Santos & Schnetzler (2003):

Etapa da Aprendizagem Baseada na Experimentação	Objetivo de Aprendizagem	Contextualização (Exemplos)	Instrumentos	Tempo	Fundamentação Teórica
	(ex.: teste de nitratos).	s agrícolas e eutrofização do rio.	os, data show.		Química aplicada a problemas reais.
6. Investigação teórica	Pesquisar sobre poluentes (ex.: fosfatos em detergentes).	Discussão sobre políticas públicas de tratamento de água.	Artigos, leis ambientais.	02 horas	Galiazzi & Gonçalves (2004): Dimensão política da ciência.
7. Produção da investigação	Realizar experimentos (ex.: medição de pH em amostras).	Comparação com padrões do CONAMA e impactos na saúde.	pHmetro, tabelas de referência.	03 horas	Hofstein & Lunetta (2004): Experimentação contextualizada.
8. Apresentação final	Propor soluções (ex.: campanha de conscientização).	Articulação com lideranças comunitárias.	Cartazes, vídeos, relatórios.	02 horas	Savery & Duffy (1995): Socialização de resultados.
9. Obtenção de produtos	Publicar relatório técnico para a prefeitura.	Engajamento com o poder público.	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborado pelo autor

3.8 DESTILAÇÃO SIMPLES DA ÁGUA

A destilação é uma técnica antiga, com registros de seu uso desde a antiguidade. Alquimistas utilizavam a destilação para purificar substâncias e buscar a pedra filosofal. Arquimedes é creditado por ter inventado um parafuso para elevar a água, que pode ser considerado um precursor dos equipamentos de destilação.

O destilador simples como mostra a Figura 1 é um equipamento fundamental

em laboratórios de química e em diversas indústrias. Ele funciona com base no princípio da vaporização e condensação seletiva, permitindo a separação de misturas homogêneas compostas por um sólido dissolvido em um líquido.

Figura 1 – Destilação Simples



Fonte: <https://www.todamateria.com.br/destilacao-simples-e-fracionada/>

Segundo Atkins (2010), a destilação simples é uma técnica milenar e fundamental na química, utilizada para purificar líquidos e separar misturas homogêneas compostas por um sólido dissolvido em um líquido. Esse processo se baseia no princípio da vaporização e condensação seletiva dos componentes de uma mistura, aproveitando suas diferentes temperaturas de ebulição. Conforme o Quadro 22 são várias aplicações.

Quadro 22 – Aplicações da Destilação Simples

Aplicação	Processo	Objetivo	Detalhes Adicionais
Obtenção de água destilada	A água impura é aquecida em um balão de destilação. O vapor d'água se condensa em um condensador e é coletado em um recipiente.	Eliminar sais minerais, bactérias e outras impurezas para uso em laboratórios, produção de medicamentos e alimentos.	Utilizada em autoclaves e diversas reações químicas.

Purificação de bebidas alcoólicas	A mistura fermentada é aquecida. O vapor rico em álcool é condensado e coletado.	Aumentar a concentração de álcool etílico na bebida, produzindo bebidas destiladas como uísque, vodka e rum.	O ponto de ebulição do álcool é menor que o da água, permitindo sua Separação por destilação fracionada.
Obtenção de óleos essenciais	A matéria-prima vegetal é colocada em um alambique e aromáticos utilizados em aromaterapia e óleos essenciais, que são condensados e separados da água.	Extrair compostos aromáticos utilizados em perfumaria, óleos essenciais, que são alimentícia.	Os óleos essenciais são compostos orgânicos voláteis com propriedades terapêuticas.

Fonte: Adaptado Atkins (2010)

A destilação simples continua sendo uma técnica importante em diversos campos, como a química, a indústria farmacêutica, a produção de alimentos e bebidas. No entanto, com o avanço da tecnologia, novas técnicas de separação de misturas foram desenvolvidas, como a cromatografia e a destilação molecular. O Quadro 23 descreve vantagens e limitações do método de destilação simples.

Quadro 23 – Vantagens e Limitações do método de destilação simples

Vantagens da Destilação Simples	Limitações da Destilação Simples
Método simples e eficiente: Ideal para separar misturas homogêneas de sólido e líquido, como sal e água.	Não separa líquidos com pontos de ebulição próximos: Para misturas de líquidos com pontos de ebulição semelhantes, como álcool e água, é necessária a destilação fracionada.
Alta pureza do destilado: Quando realizada corretamente, permite obter um líquido de alta pureza, livre de impurezas sólidas.	Consumo de energia: Requer energia para aquecer a mistura e promover a vaporização, aumentando os custos operacionais.

Versatilidade: Pode ser aplicada em diversas áreas, como laboratórios, indústrias químicas e alimentícias.	Tempo de processamento: O tempo de destilação pode ser relativamente longo, dependendo do volume da amostra e da diferença entre os pontos de ebulição dos componentes.
---	---

Autor: Adaptado Atkins (2010)

3.9 A COLETA SELETIVA COMO FERRAMENTA NA LUTA CONTRA A POLUIÇÃO DOS RIOS

A coleta seletiva, prática que consiste na separação dos resíduos sólidos em diferentes categorias para posterior reciclagem, tem se mostrado uma ferramenta fundamental na mitigação da poluição dos rios. Ao direcionar os materiais recicláveis para processos de reaproveitamento, a coleta seletiva reduz a quantidade de lixo que acaba nos aterros sanitários e, consequentemente, nos cursos d'água.

O descarte incorreto de resíduos sólidos é uma das principais causas da poluição dos rios. Quando o lixo não é destinado aos locais adequados, ele é arrastado pelas chuvas e ventos para os rios, lagos e oceanos. Browne *et al.* (2011), em um estudo pioneiro, destacaram a presença de microplásticos em organismos marinhos, evidenciando a conexão entre a poluição terrestre e a marinha.

O Quadro 24 demonstra alguns benefícios e desafios da coleta seletiva para os rios.

Quadro 24 - Benefícios e desafios da coleta seletiva para os rios

Benefícios da Coleta Seletiva para os Rios	Descrição
Redução do volume de lixo nos rios	Diminui a quantidade de resíduos que chegam aos rios, melhorando a qualidade da água e dos habitats aquáticos.
Preservação da biodiversidade	Reduz o risco de ingestão de plástico por animais aquáticos e a contaminação de seus habitats.
Prevenção de enchentes	Evita o entupimento de bueiros e redes de drenagem, reduzindo o risco de inundações.

Conservação de recursos naturais	Diminui a necessidade de extração de matéria-prima virgem, economizando recursos naturais e energia.
---	--

Fonte: Adaptado Browne *et al.* 2011

Figura 2 – Rio Capibaribe poluído por plásticos



Autor: https://images.uncyc.org/pt/f/fb/Capibaribe_sujo.jpg

3.9.1 Coleta Seletiva

A coleta seletiva é um pilar fundamental da economia circular, um modelo de produção e consumo que visa minimizar a geração de resíduos e maximizar a reutilização e reciclagem de materiais. Ao separar os resíduos em suas diferentes categorias (papel, plástico, vidro, metal, orgânico), a coleta seletiva facilita o processo de reciclagem, transformando materiais que seriam descartados em novos produtos.

A conexão com a economia se dá pela busca de um sistema econômico regenerativo, onde os recursos são utilizados de forma mais eficiente e os produtos são projetados para terem um ciclo de vida mais longo, com menor geração de resíduos. A Ellen MacArthur Foundation (2013), em seu relatório sobre a economia circular, destaca a importância da reciclagem para fechar os ciclos de vida dos produtos, reduzindo a pressão sobre os recursos naturais e minimizando os impactos ambientais.

Além dos benefícios ambientais, a coleta seletiva também gera benefícios

sociais e econômicos: como a geração de empregos, inovação, redução de custos e fortalecimento da economia local.

Apesar dos benefícios, a implementação da coleta seletiva enfrenta desafios como a falta de infraestrutura adequada em muitas regiões, a necessidade de maior conscientização da população e a complexidade da logística reversa. No entanto, com investimentos em educação ambiental, políticas públicas eficazes e o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes, a coleta seletiva pode se tornar uma prática cada vez mais comum e eficaz na construção de um futuro mais sustentável.

É importante ressaltar que a coleta seletiva é apenas uma parte da solução. Para alcançar uma economia circular completa, é necessário adotar outras medidas, como a redução na produção de embalagens, o design de produtos mais duráveis e reparáveis, e o incentivo ao consumo consciente.

3.10 TRATAMENTO DA ÁGUA

O tratamento da água é um processo fundamental para garantir a saúde pública e a qualidade de vida. Ele visa eliminar ou reduzir a carga microbiana, substâncias químicas, partículas sólidas e outras impurezas presentes na água bruta, tornando-a segura para o consumo humano.

Metcalf e Eddy (2003), em sua obra "*Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*", oferecem uma visão abrangente dos diferentes processos de tratamento da água. A coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção são etapas cruciais nesse processo. A coagulação e floculação visam aglomerar as partículas em suspensão, formando flocos maiores que podem ser removidos por sedimentação. A sedimentação permite a decantação desses flocos, enquanto a filtração remove as partículas menores que não foram removidas nas etapas anteriores. A desinfecção é a etapa final, na qual são utilizados agentes químicos ou físicos para eliminar microrganismos patogênicos.

A importância do tratamento da água vai além da saúde pública. A água de qualidade é essencial para diversos setores, como a indústria, a agricultura e o meio ambiente. Um abastecimento seguro e contínuo de água potável é fundamental para o desenvolvimento socioeconômico de uma região.

Além dos processos convencionais de tratamento, novas tecnologias e abordagens têm sido desenvolvidas para melhorar a eficiência e a sustentabilidade do

tratamento da água. A utilização de membranas, como na osmose reversa, permite a remoção de uma ampla gama de contaminantes, incluindo sais e moléculas orgânicas. A desinfecção por radiação ultravioleta é outra alternativa promissora, pois não produz subprodutos indesejáveis.

A qualidade da água tratada é monitorada continuamente através de análises físico-químicas e microbiológicas, garantindo que ela atenda aos padrões estabelecidos pelas autoridades de saúde. No entanto, é importante ressaltar que o tratamento da água é um processo contínuo e que desafios como a contaminação por microplásticos e a presença de fármacos na água exigem pesquisas e investimentos constantes.

3.11 LEGISLAÇÃO DA ÁGUA NO BRASIL

A legislação ambiental brasileira estabelece os padrões de qualidade da água e as normas para seu uso e proteção. A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei nº 9.433/1997, define os princípios, objetivos e instrumentos para a gestão dos recursos hídricos, buscando garantir a segurança hídrica e a utilização racional da água. Outras leis e normas relevantes incluem as descritas no Quadro 25.

Quadro 25 – Legislação da Água no Brasil

Resolução/Lei	Título Completo	Objetivo Principal	Relação com a Gestão de Recursos Hídricos
CONAMA nº 357/2005	Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes para o enquadramento, as condições e os padrões de lançamento de efluentes, e a disposição de resíduos sólidos.	Estabelecer critérios para a qualidade da água e regular o lançamento de efluentes.	Define os padrões de qualidade da água e os limites para a descarga de poluentes nos corpos d'água, garantindo a proteção dos recursos hídricos

Código Florestal (Lei nº 12.651/2012)	Estabelece as normas gerais sobre a proteção da vegetação nativa e vegetação nativa e dispõe sobre as áreas de preservação permanente e as reservas legais.	Proteger a vegetação nativa e garantir a conservação dos recursos hídricos.	As áreas de preservação permanente (APPs) ao longo de cursos d'água contribuem para a proteção dos mananciais e a Manutenção da qualidade da água
Lei nº 11.445/2007 (Saneamento Básico)	Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.	Garantir o acesso à água potável e ao tratamento de esgoto para toda a população.	A lei determina que a universalização do saneamento básico é essencial para a proteção dos recursos hídricos e a promoção da saúde pública.

Autor: Elaborado pelo autor

A legislação ambiental brasileira desempenha um papel fundamental na gestão dos recursos hídricos, estabelecendo um arcabouço legal para a proteção e o uso sustentável da água. As leis e resoluções apresentadas no Quadro 25 acima demonstram o compromisso do país em garantir a qualidade da água, a preservação dos ecossistemas aquáticos e o acesso da população à água potável.

4 METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Esta pesquisa é de natureza aplicada numa intervenção pedagógica numa perspectiva de pesquisa qualitativa, desenvolvida utilizando a experimentação no ensino de química na temática de poluição do rio Capibaribe.

Na concepção de Chizzotti (2006), a pesquisa qualitativa supõe o contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo investigada e Gil (2002), entende que a abordagem qualitativa se caracteriza, também, como sendo uma tentativa de se explicar em profundidade o significado e as características

das informações obtidas por meio de observações, questionários, entrevistas, entre outros.

4.2 CONTEXTO DA PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida em uma Escola Municipal de Tempo Integral localizada no bairro da Várzea, atendendo cerca de 500 estudantes de baixa renda. A escolha dessa escola se justifica pela relevância da temática ambiental para a comunidade local, que enfrenta problemas como a poluição do Rio Capibaribe. A intervenção pedagógica foi realizada no período das aulas da disciplina de química e de geografia da referida escola, buscando estabelecer diálogos interdisciplinares, dentro das temáticas ambientais a serem desenvolvidas nessa região. Abaixo na figura 3 a localização geográfica da escola e sua proximidade com o Rio Capibaribe em um contexto de monitoramento de qualidade da água.

Figura 3 – Indicadores georreferenciado de qualidade da água



Autor: SIG (2022)

4.3 PARTICIPANTES DA PESQUISA

A pesquisa envolveu uma turma do 9º ano do ensino fundamental II composta por 27 estudantes, com idade entre 13 e 15 anos. A turma foi escolhida por apresentar um perfil heterogêneo em relação ao desempenho escolar e interesse pelas ciências, e por sua representatividade da diversidade social e cultural da comunidade escolar - a maioria dos estudantes são provenientes de famílias de baixa renda e moram próximos à escola.

4.4 ETAPAS METODOLÓGICAS

Para o desenvolvimento da pesquisa foi realizado um levantamento bibliográfico exploratório envolvendo a experimentação e o ensino de Química e a temática da poluição das águas do rio Capibaribe.

A intervenção pedagógica foi elaborada e aplicada com os assuntos: separação de misturas, propriedades dos materiais, tempo de decomposição dos materiais, coleta seletiva, poluição e tratamento de água.

A estruturação do projeto foi realizada a partir das seguintes etapas:

- Primeira Etapa - Sondagem e Apresentação do tema;
- Segunda Etapa - Divisão dos estudantes em grupos para elaboração dos Experimentos;
- Terceira Etapa - Visita ao rio Capibaribe próximo à escola;
- Quarta Etapa - Momento para Reflexão e Discussão;
- Quinta Etapa - Orientação estruturada, com metas específicas, atribuições de cada componente da equipe e o prazo, delineado pelo professor;
- Sexta Etapa - Realização da pesquisa teórica e seleção dos experimentos;
- Sétima Etapa - Aprofundamento da temática e conteúdo;
- Oitava Etapa - Realização dos experimentos e discussão dos resultados;
- Nona Etapa - Questionário final de avaliação e autoavaliação;
- Décima Etapa - Compilação dos resultados da pesquisa para obtenção do Produto Educacional (PE) (e-book) e Panfleto de divulgação científica. No quadro 26 a seguir, indicam-se sistematicamente as etapas acima descritas para o desenvolvimento do tema da pesquisa, incluindo os objetivos, os instrumentos necessários à execução e o tempo didático.

Quadro 26 - Etapas do desenvolvimento

Etapas do desenvolvimento	Objetivo	Instrumentos	Tempo Didático
1- Sondagem diagnóstica e Apresentação do tema	Conhecimento prévio dos estudantes sobre a temática da poluição do Rio Capibaribe próximo à escola visando despertar o interesse dos estudantes.	Questionário Apresentação de reportagens e vídeo	1º Momento 30 minutos
2 - Divisão dos estudantes em grupos para elaboração dos Experimentos	Promover a construção de equipes de trabalho para o desenvolvimento do projeto	Papel e caneta	1º Momento Pelo Menos 10 minutos
3- Visita ao rio Capibaribe próximo à escola	Realizar uma imersão na problemática real	Papel, caneta, celular, smartphone, roteiro de visita	1º Momento Pelo Menos 50 minutos
4- Momentos para Reflexão e Discussão	Refletir criticamente sobre a problemática relacionada	Papel e caneta	1º Momento Pelo Menos 10 minutos
5- Orientações estruturada, com metas específicas, atribuições de cada componente da equipe e o prazo, delineado pelo professor	Aula teórica para o desenvolvimento do projeto. Definição de objetivos, função de cada membro e o prazo	Aula, data show e notebook	2º Momento Pelo Menos 50 minutos
6- Realização de Pesquisa teórica e seleção dos experimentos	Selecionar experimentos de química	Uso de celulares para a consulta de materiais disponíveis sobre as análise químicas em websites,	2º Momento Pelo Menos 20 minutos

		webjornais, e livros.	
7- Aprofundamento da temática e conteúdo	Fundamentação teórica do conteúdo necessário para o aprofundamento e entendimento das selecionadas temática e discussão dos resultados	Notebook, data show, materiais e selecionados	2º Momento Pelo Menos 30 minutos
8- Realização dos Experimentos e discussão dos resultados	Realizar os Experimentos com análise e discussão dos resultados	Utilização de reagentes e materiais para a análise de uma amostra de água do Rio Capibaribe próximo à escola.	3º Momento Pelo Menos 02 horas
9- Questionário final de avaliação e autoavaliação Autoavaliação da proposta	Avaliar e autoavaliar a proposta vivenciada	- Notebook, celular - Questionário individual e Escuta coletiva	4º Momento Pelo Menos 02 horas
10 - Obtenção dos resultados para a composição do trabalho final e o Produto educacional	Apresentar os resultados do projeto. produzir um panfleto e compilar as ações deste trabalho em um E-book para os professores utilizarem na sala de aula, como material didático de apoio para o ensino de química com a temática sobre o Rio Capibaribe	Notebook, impressora, e data show.	4º Momento Pelo Menos 02 horas

Fonte: autor (2024)

4.5 INSTRUMENTOS DE PRODUÇÃO DE DADOS

4.5.1 Primeira Etapa - Sondagem Diagnóstica e Apresentação do tema - despertar o interesse dos estudantes.

Nesta etapa os estudantes foram apresentados ao tema do projeto, foi realizado um questionário com perguntas de múltiplas alternativas, apresentadas o quadro 27 a seguir.

Quadro 27 - Questionário de Sondagem

<p>Nome do aluno</p> <p>01. Como você acha que a contaminação da água do Rio Capibaribe pode afetar a saúde das pessoas?</p> <p>() Doenças transmitidas pela água () Problemas de pele () Problemas respiratórios d) Outros</p> <p>02. Você percebeu alguma mudança na qualidade da água do Rio Capibaribe após as inundações de maio de 2022?</p> <p>a) Sim b) Não</p> <p>03. Quais problemas ambientais você acredita que estão afetando o Rio Capibaribe? (Selecione todas as opções que se aplicam)</p> <p>() Acúmulo de lixo () Contaminação da água por esgotos () Desmatamento () Erosão do solo () Outros</p> <p>04. Quais medidas você sugere para reduzir a poluição no Rio Capibaribe? (Selecione todas as opções que se aplicam)</p> <p>() Campanhas de conscientização () Melhoria na infraestrutura de coleta de lixo () Projetos de despoluição e filtragem da água () Reflorestamento nas margens do rio () Outros</p>

05. Na sua opinião, qual é a principal causa do acúmulo de lixo no Rio Capibaribe?
- Falta de coleta de lixo regular
 - Descarte inadequado de resíduos
 - Falta de conscientização da população
 - Outros

Fonte: Autor (2024).

Também foram apresentadas reportagens sobre o Rio Capibaribe na enchente de 2022, visando despertar o interesse dos estudantes sobre a problemática da poluição os rios.

4.5.2 Segunda Etapa - Divisão dos estudantes em grupos para elaboração do projeto

Os estudantes foram divididos em grupos para a realização das atividades propostas nesta pesquisa. Para a obtenção dos grupos foi realizado um sorteio para evitar a criação de grupos tendenciosos.

4.5.3.Terceira Etapa - Visita ao rio Capibaribe próximo à escola

Foi realizada uma visita ao Rio Capibaribe que fica bem próximo à escola. Os estudantes seguiram a pé da Escola para as margens do Rio Capibaribe, conduzidos pelo professor.

4.5.4 Quarta Etapa – Momento para Reflexão e Discussão

Após a visita ao rio Capibaribe, na escola, o professor usou este momento para a reflexão das observações, indagações e problemas que foram destacados da visitação ao Rio Capibaribe.

4.5.5 Quinta Etapa - Orientação estruturada com metas específicas, atribuições de cada componente da equipe e o prazo, delineado pelo professor (pesquisador)

As falas e indagações surgidas na visita ao Rio Capibaribe foram separadas em temas, que nortearam a pesquisa teórica e a seleção dos experimentos químicos.

4.5.6 Sexta Etapa - Realização de pesquisa teórica e seleção dos experimentos

Os estudantes realizaram uma pesquisa teórica para o aprofundamento dos assuntos e selecionaram os experimentos.

4.5.7 Sétima Etapa - Aprofundamento da temática e do conteúdo

Após a seleção dos experimentos foi necessário o aprofundamento teórico dos assuntos para o melhor desenvolvimento e interpretação dos resultados experimentais. O professor pesquisador explicou os assuntos envolvidos nos experimentos utilizando notebook, datashow, quadro e piloto.

4.5.8 Oitava Etapa - Realização dos Experimentos de Química e discussão dos resultados

As atividades experimentais aconteceram no laboratório da escola, integrando a teoria e a prática.

4.5.9 Nona Etapa – Questionário final de avaliação e autoavaliação

Os estudantes responderam um questionário de avaliação e autoavaliação sobre a experiência vivida, o envolvimento no projeto e os conteúdos que mais demonstraram interesse na aplicação dessa pesquisa.

4.5.10 Décima Etapa - Compilação dos resultados da pesquisa para obtenção do trabalho final e o Produto Educacional (PE) (e-book)

A partir dos resultados obtidos desta pesquisa foi elaborado um panfleto informativo para a comunidade escolar e a população próxima à escola. Como produto educacional foi produzido um *E-book*.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 PRIMEIRA ETAPA - SONDAÇÃO DIAGNÓSTICA E APRESENTAÇÃO DO TEMA - DESPERTAR O INTERESSE DOS ESTUDANTES

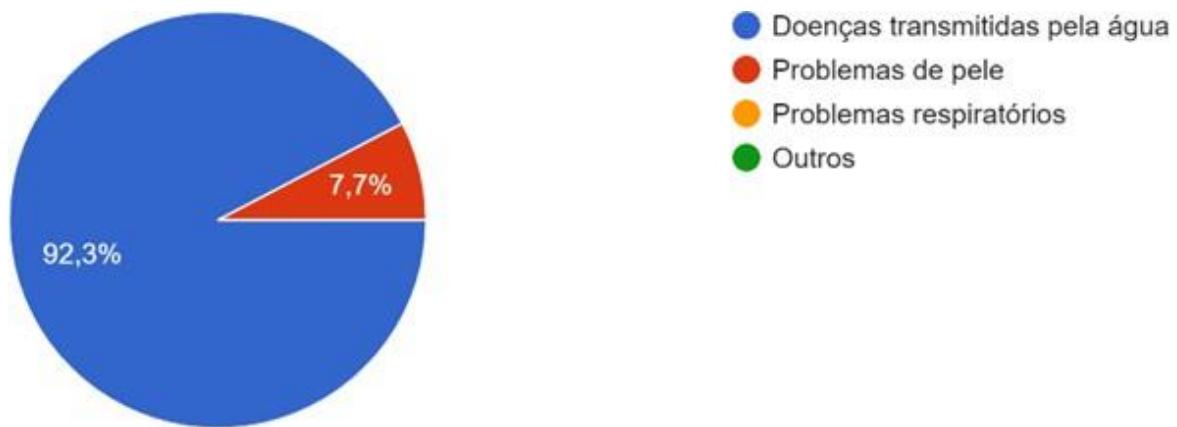
Sondagem Diagnóstica

Para a etapa de sondagem diagnóstica, foi elaborado um questionário composto de cinco questões. O objetivo era coletar informações sobre o conhecimento prévio dos estudantes. A participação, contudo, foi limitada, com apenas 17 estudantes respondendo, porque alguns estudantes estavam sem poder acessar a internet para responder o formulário.

O questionário foi disponibilizado por meio da ferramenta Google Forms.

Para uma visualização clara dos resultados, os dados foram apresentados em gráficos de pizza e em barras.

Gráfico 1 – Primeira questão



Fonte: Autor (2024)

Questão 1

Na questão 1: “Como você acha que a contaminação da água do Rio Capibaribe pode afetar a saúde das pessoas?”

Dentre as alternativas descritas no gráfico 1, percebe-se que 92,3% dos estudantes acreditam que a contaminação da água do rio ser relacionadas a transmissão de doenças veiculadas pela água e 7,7% ser por problemas de pele. Não houve marcação em mais de uma alternativa.

Na questão 1 objetivava saber a maneira que se relaciona a contaminação da água do rio Capibaribe, no contexto da aprendizagem, com a saúde humana. A maioria das respostas mostra que os estudantes relacionam à contaminação da água a visão ampla de doenças biológicas e que têm conhecimento geral no assunto, possivelmente devido à ênfase dada aos conteúdos na disciplina de ciências no sétimo ano do ensino fundamental quando se fala da temática e sua relação com complicações de saúde nas aulas da escola. Conforme o estudo de Silva (2020) sobre a veiculação de doenças pela água, 97% estudantes reconheciam a água contaminada como meio de transmissão de doença, mas 60% não sabiam especificar qual tipo seria veiculada. Na alternativa “Outros”, a qual não foi indicada pelos estudantes, poderiam ser relacionadas respostas como intoxicação por substâncias químicas jogadas no rio ou pelos esgotos.

Esta questão foi necessária para compreender, na visão dos estudantes, quais implicações que o consumo de água contaminada afeta na saúde. Com os

conhecimentos prévios dos estudantes espera-se contribuir para o desenvolvimento de materiais de ensino interdisciplinar da Química com a Biologia e meio ambiente.

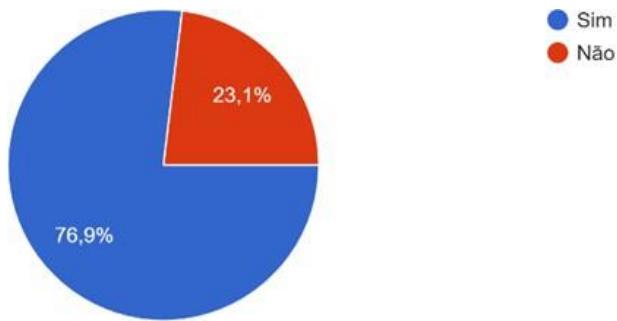
Questão 2

Na questão 2: “Você percebeu alguma mudança na qualidade da água do Rio Capibaribe após as inundações de maio de 2022?”

A resposta a esta questão apresentou as seguintes respostas: 76,9% responderam Sim e 23,1% Não, (Gráfico 2). Essa resposta pode estar associada à proximidade da residência dos participantes, de vivência ou não das margens do rio Capibaribe à época da cheia, como também da repercussão dos fatos ocorridos e o contato deles com as informações na mídia local e website ou perfis de redes sociais. Nesta questão buscava-se evocar a lembrança da água do rio Capibaribe e os transtornos vividos por essa comunidade escolar à época da cheia. Neste momento não foi delimitado os parâmetros de qualidade da água. A maioria dos estudantes percebeu mudanças na qualidade das águas do rio Capibaribe diante das inundações de maio de 2022. Essa mudança da qualidade da água pode ser observada na época da enchente de 2022 devido aos lixos que estavam sendo arrastados pelas águas do Capibaribe e pelos sólidos em suspensão, devido ao material natural dos rios e a cor devido a lama das enxurradas vivenciadas pelos estudantes e comunidade ribeirinha.

Braga *et al.* (2015, p 33) destaca que a qualidade da água é “resultante de fenômenos naturais e pela atividade humana. Os cursos d’água, além de seus vários usos, também são utilizados como destino de despejos domésticos e industriais de esgotos, tratados ou não”. Além disso, os processos de urbanização com as ocupações próximas ao solo do rio influenciam as condições de qualidade desses corpos d’água.

Gráfico 2 – Segunda questão



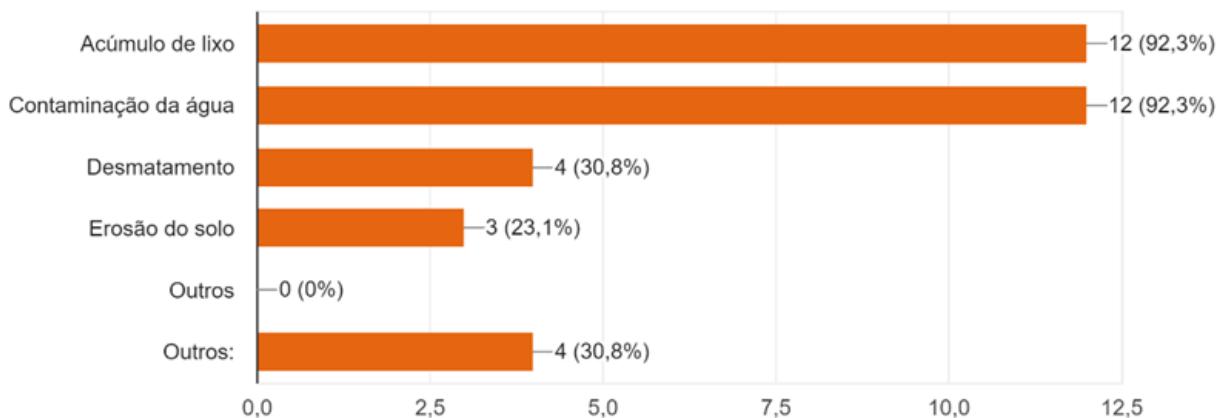
Fonte: Autor (2024).

Questão 3

Na questão 3: “Quais problemas ambientais você acredita que estão afetando o Rio Capibaribe?” (Selecione todas as opções que se aplicam)

A questão 3 de múltipla escolha tinha a opção “Outros” para que fosse possível descrever quais outros problemas ambientais possíveis.

Observa-se no gráfico de barras, gráfico 3, que dentre as alternativas mais citadas foram o acúmulo de lixo e a contaminação da água com 92,3%; 23,1% a erosão do solo e 30,8% o desmatamento. Nenhum estudante usou a opção outros - não foram descritos quais seriam outros problemas. Santos (2016) relata que as ações humanas como o despejo de esgoto, o lixo residencial, dejetos químicos industriais e outros tipos de poluentes são a causa da piora da qualidade dos cursos d’água por estarem frequentemente presentes. Tornando muito impactante a degradação desse ecossistema hídrico devido ao aumento da insalubridade e os problemas ambientais dessas águas. Os estudantes responderam de acordo com o que eles vivenciam, ver lixos boiando ou às margens do rio Capibaribe. De acordo com Silva (2023) após a realização das atividades de experimentação amplia-se o conhecimento dos estudantes.

Gráfico 3 – Terceira questão

Fonte: Autor (2024)

Questão 4

Na questão 4: “Quais medidas você sugere para reduzir a poluição no Rio Capibaribe?” (Selecione todas as opções que se aplicam)

A questão 4 foi de múltipla escolha e ainda tinha a opção de descrever quais outras medidas sugeridas para reduzir a poluição dos rios (na alternativa “Outros”).

Observa-se no gráfico de barras, gráfico 4, que dentre as alternativas as mais citadas foram: Para página 105, reescrevi: A Questão 4, de múltipla escolha, incluía a opção "Outros" para que os estudantes pudessem descrever medidas adicionais sugeridas para reduzir a poluição dos rios.

Conforme observado no Gráfico 4 (gráfico de barras), as alternativas mais frequentemente citadas, com 100% das escolhas dos estudantes, foram: melhoria na infraestrutura de coleta do lixo e a implementação de projetos de despoluição e filtragem ao longo do rio

Além disso, o Gráfico 4 revela que 76,9% dos estudantes sugeriram a realização de campanhas de conscientização e o reflorestamento das margens do rio. Um percentual menor, 15,4%, optou pela alternativa "Outros", sem, no entanto, descrever as medidas propostas.

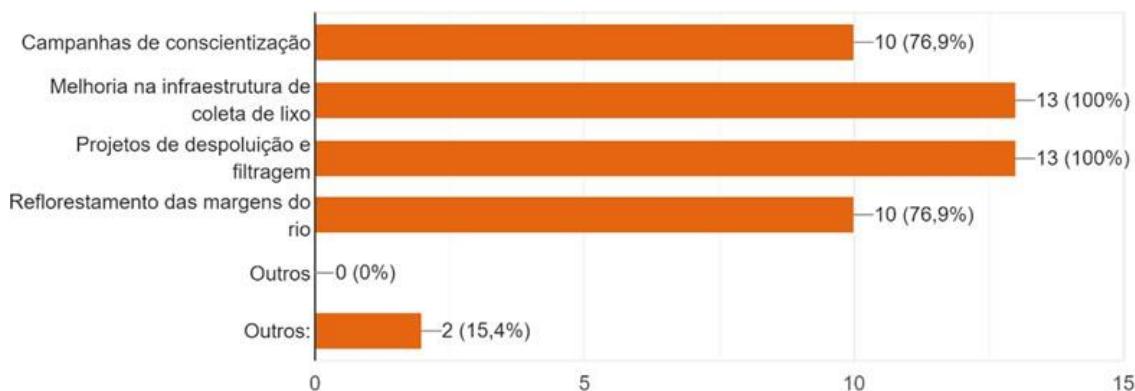
Observa-se que as respostas dos estudantes estão de acordo com Souza Júnior e Souza (2022) que apontaram projetos e/ou ações de educação ambiental para preservação das águas.

Campanhas de conscientização: A educação ambiental é vista como uma ferramenta crucial para mudar comportamentos e promover atitudes mais sustentáveis em relação ao meio ambiente.

- Melhoria na infraestrutura de coleta de lixo: A falta de coleta regular e eficiente de lixo contribui significativamente para a poluição dos rios. A melhoria desse serviço é considerada essencial para reduzir o descarte irregular de resíduos;
- Experimentações de despoluição e filtragem: A implementação de Experimentações que visem tratar os efluentes domésticos e industriais antes de serem lançados no rio é fundamental para reduzir a carga poluidora;
- Reflorestamento das margens do rio: A cobertura vegetal nas margens dos rios ajuda a proteger o solo, reduzir a erosão e melhorar a qualidade da água.

Os estudantes também perceberam a importância no engajamento da sociedade civil em projetos de educação ambiental, na revitalização, alcance das condições naturais e reequilíbrio do ecossistema dos corpos hídricos.

Gráfico 4 – Quarta questão



Fonte: Autor (2024)

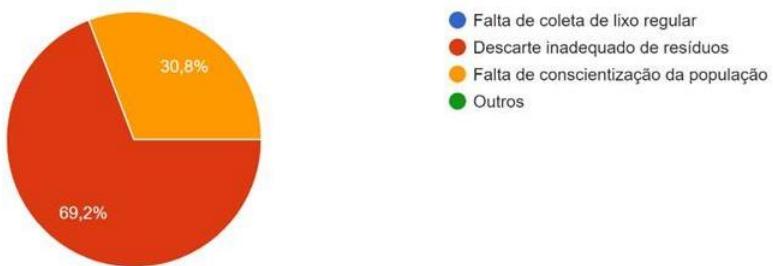
Questão 5

Na questão 5: “Na sua opinião, qual é a principal causa do acúmulo de lixo no Rio Capibaribe”.

Dentre as alternativas elencadas a principal causa do acúmulo de lixo no Rio Capibaribe foi atribuída ao descarte inadequado de resíduos por 69,2% dos estudantes e à falta de conscientização da população por 30,8%, gráfico 5. Corroborando com o estudo de Fonseca (2014) ao investigar representações sociais

da poluição de águas de rios, também apontou nas respostas dos estudantes a presença do lixo doméstico como causa principal e a conscientização como solução.

Gráfico 5 – Quinta questão



Fonte: Autor (2024)

Apresentação do tema

Como parte da Etapa 1 – Sondagem diagnóstica a apresentação do tema, a introdução à problemática sobre a poluição do rio Capibaribe foi iniciada a partir de um fato que aconteceu próximo à Escola, uma enchente em Recife no ano de 2022 devido às fortes chuvas ocorridas em Pernambuco e na Grande Recife. Essas inundações causaram não apenas danos econômicos e materiais, como danos à saúde e problemas ambientais de erosão do solo resultando em lama, acúmulo de lixo e contaminação da água. Houve uma grande devastação da cheia nas casas, com a observação de todo tipo de lixo boiando nas águas e acumulado arrastados para as casas e na Escola, água contaminada e acumulada e mal cheiro. Estes fatos limitaram a circulação das pessoas e a vinda à escola, prejudicando o andamento das aulas no ano Letivo e gerou uma série de desafios para a população local que mora próximo às margens do rio Capibaribe.

Foram apresentados artigos e fotos de reportagens da internet sobre o Rio Capibaribe na enchente de 2022: <https://globoplay.globo.com/v/12630897/>

FIGURA 04 – Foto Panorâmica do Recife em 04/06/2022



Fonte: : <https://www.metropoles.com/brasil/recife-chuvas-voltam-a-castigar-a-cidade-e-provocam-novos-alagamentos>

Em maio de 2022, o estado de Pernambuco foi atingido por fortes chuvas, resultando em inundações que afetaram diversas áreas, especialmente nas proximidades do Rio Capibaribe. Essas inundações causaram não apenas danos materiais, mas também trouxeram à tona problemas ambientais graves, como o acúmulo de lixo e a contaminação da água. Estes fatores limitaram a circulação das pessoas e a vinda à escola, gerando uma série de desafios para a população

Fonte: Autor (2024)

Foram conduzidas perguntas sobre os fatos apresentados e as memórias dos estudantes relacionadas à experiência desse período, investigando seus impactos na escola, família e cidade.

Após essa etapa, observou-se um engajamento significativo dos estudantes, demonstrando curiosidade e desejo de compreensão dos conteúdos que seriam abordados através da temática proposta, em um processo marcadamente dialógico.

Figura 05 – Imagens da tragédia de maio de 2022



Fonte: REUTERS/Diego Nigro (2022)

A partir disso, solicitou-se por meio de uma pergunta qual seria a solução sobre o acúmulo de lixo urbano no rio Capibaribe, a contaminação da água, quanto aos aspectos químicos e biológicos, as ruas alagadas e ainda discutiram sobre as quedas de barreiras que resultaram em perdas de vidas.

Diante dos aspectos aqui vividos, foi possível perceber dos estudantes o engajamento, o processo dialógico, a curiosidade nos conteúdos e de compreensão da temática, a atenção nos recursos usados, como o vídeo e as questões mobilizadoras de ideias, as emoções da experiência difícil e as dificuldades diante das desigualdades sociais e limitações no conhecimento para solucionar.

Este momento foi motivador para propiciar um ambiente narrativo contextualizado - uma experiência vivida pelos estudantes tanto na casa, na família e cidade. Favoreceu o resgate de memórias de estudantes da escola afetados diretamente pela inundação. Iniciaram as perguntas entre si e o resgate de memórias de estudantes da escola afetados com as inundações. Evidenciando a aprendizagem ativa e colaborativa indicada por Bender (2014) por meio do processo interativo, comunicativo e persuasivo estabelecido no primeiro encontro com as hipóteses iniciais, possíveis causas, consequências e soluções discutidas.

5.2 SEGUNDA ETAPA - DIVISÃO DOS ESTUDANTES EM GRUPOS PARA ELABORAÇÃO DO PROJETO

Para a execução das atividades propostas nesta pesquisa, os estudantes foram divididos em grupos. A escolha por essa metodologia baseou-se em experiências prévias com a turma, nas quais a divisão em grupos resultou em melhor organização, facilitação do desenvolvimento dos trabalhos (pela divisão de tarefas), responsabilidade e tomada de decisões. Para garantir a formação de equipes imparciais e evitar a criação de grupos tendenciosos, os membros foram definidos por meio de um sorteio.

Figura 06 – Discussão do tema entre grupos



Fonte: Autor (2024)

5.3 TERCEIRA ETAPA - VISITA AO RIO CAPIBARIBE PRÓXIMO À ESCOLA

A visita ao Rio Capibaribe, localizado próximo à escola, representou um momento crucial na sequência didática, concretizando a passagem da teoria para a imersão na problemática real. A animação inicial dos estudantes, motivada pela saída do ambiente escolar tradicional, corrobora com a ideia de que as aulas de campo quebram a rotina e potencializam o engajamento. Essa interação direta com o objeto de estudo, fora dos muros da escola, é um catalisador para a curiosidade, um dos pilares que o professor deve promover para que a aprendizagem seja alcançada, conforme apontam Petrucci e Batiston (2006).

Durante a caminhada e a observação das margens do rio, o que era apenas animação se transformou em um processo genuíno de investigação. Foi um dia de sol, o céu estava sem nuvens, as águas às margens do Rio Capibaribe se apresentavam com leve movimento e, por isso, se misturava com os sedimentos do rio que ficavam em suspensão e os estudantes começaram a externalizar suas

inquietações e a formular suas próprias questões:

- Naturalmente algumas falas e inquietações dos estudantes foram surgindo: “e a saúde do Rio?”
- “Como o rio fica feio com coisas flutuando”,
- “Esses materiais (flutuando) é poluição?”
- “Porque que alguns desses materiais flutuam e outros afundam?”
- “Os materiais que flutuam vão parar de flutuar?”,
- “Quanto tempo os materiais ficam no rio até se “acabar”? “
- “Pode beber a água do rio? “
- “Se não fosse poluído dava para eu tomar da água dele?”
- “Tem peixes? “

5.4 QUARTA ETAPA – MOMENTO PARA REFLEXÃO E DISCUSSÃO EM GRUPO

Os estudantes foram dispostos num formato diferenciado das aulas tradicionais, em círculos, frente a frente.

Na reflexão os estudantes começaram a tentar responder as falas e questionamentos da etapa anterior e de novos questionamentos que foram surgindo.

Neste momento houve uma discussão mais aprofundada sobre a temática da poluição do Rio Capibaribe e a busca de soluções para a problemática ambiental. Foram discutidos os impactos ambientais associados às perdas dos bens materiais, envolvendo as instalações danificadas nas escolas e ruas, como também na saúde, e o problema ambiental observado.

Esta etapa materializa o que Petrucci e Batiston (2006) descrevem como a "arte" de ensinar, na qual o docente promove a curiosidade e a segurança para que os estudantes se "encantem com o saber". Ao escutar e valorizar as primeiras sugestões e soluções propostas pelos estudantes, o professor-pesquisador atua como mediador, identificando os caminhos para delinear os conteúdos químicos a serem trabalhados. Essa prática se alinha à perspectiva de Freire (1996), que vê o ato de ensinar como uma ação cultural que se concretiza na interação e no reconhecimento dos contextos locais. A discussão em grupo, portanto, não foi apenas uma conversa, mas o início da construção de um conhecimento coletivo, onde o problema real começou a ser transformado em um problema de investigação científica.

Na escuta dos estudantes o professor percebeu que alguns estudantes

chegaram a sugerir algumas ações e soluções possíveis e pode delinear os conteúdos químicos a serem trabalhados culminando na próxima etapa.

5.5 QUINTA ETAPA - ORIENTAÇÃO ESTRUTURADA, COM METAS ESPECÍFICAS, ATRIBUIÇÕES DE CADA COMPONENTE DA EQUIPE E O PRAZO, DELINEADO PELO PROFESSOR (PESQUISADOR)

Esta etapa reflete a aplicação da teoria sociocultural de Vygotsky (1934/2001), na qual o professor atua como mediador na Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) dos estudantes. Ao partir das dúvidas concretas e observações empíricas dos estudantes, o professor os conduziu em direção ao pensamento científico formal, estabelecendo relações entre suas vivências e os conceitos teóricos. A orientação estruturada, portanto, não foi uma imposição de conteúdo, mas uma mediação planejada para transformar a curiosidade inicial, gerada pelo problema real, em um plano de investigação científica, conforme defendido por Carvalho (2013).

O professor orientou os grupos a separarem as falas e indagações surgidas na visita ao Rio Capibaribe, que nortearam a pesquisa teórica e a seleção dos experimentos químicos.

Falas e indagações:

- “Como o rio fica feio com coisas flutuando...”
- “Esses materiais (flutuando) é poluição?”
- “Porque que alguns desses materiais flutuam e outros afundam? ”
- “Quando os materiais que flutuam vão parar de flutuar?”,
- “Quanto tempo os materiais ficam no rio até se “acabar”?
- “Quando os materiais que flutuam vão parar de flutuar?”,

Essas indagações surgem porque na visita ao rio Capibaribe foram observados resíduos sólidos flutuando ao longo do rio - sacos plásticos, garrafas plásticas em geral, latinhas de refrigerantes e tampas de metal e até sofá. Os resíduos sólidos se fixaram às margens dos rios, boiando nas águas, suspensos e “enganchados” (presos) nas vegetações e parcialmente soterrados, uns visualmente em bom estado de conservação e outros desgastados

As falas dos estudantes “como o rio fica feio com coisas flutuando”, “esses materiais (flutuando) é poluição?”

Os estudantes vivenciaram as enchentes em 22 de maio de 2022, um momento de calamidade pública na cidade de Recife, bem como em todo estado de Pernambuco. O rio Capibaribe transbordou em algumas regiões e próximo à escola, devido ao grande volume de água das chuvas à época. O rio Capibaribe se apresentava com um fluxo turbulento com cor argilosa (como dizemos no Nordeste: “lameado”), possivelmente devido ao grande volume de água das chuvas que aumentaram o fluxo do rio, fazendo-o arrastar os sedimentos - das argilas das suas margens e arrastadas pelas quedas de morros e barrancos. Nestas enxurradas muitos resíduos (lixo) foram arrastados, causando uma poluição de resíduos sólidos (lixo).

A partir destas perguntas foi escolhido o conceito de poluição na questão do lixo: debatidos os tipos de lixo urbano, de dar o devido descarte ao lixo destacando a importância da coleta seletiva do lixo e o consumo consciente para gerar menos resíduos e despertar a importância da reciclagem na sociedade. Também foram trabalhados o assunto de densidade, separação de misturas assunto relacionado à matéria e o tempo de decomposição total dos materiais na natureza.

Após a observações ao ver os resíduos sólidos (considerados como poluição) houve curiosidade para saber se a água do rio Capibaribe era própria para banho (“pode nadar?”) ou consumo humano (“pode tomar?”), bem como se tinham peixes no rio (“tem peixes?”). A partir destas indagações houve a necessidade de trabalhar a questão da turbidez da água do rio, da questão da solubilidade das substâncias em água, sobre os tipos de misturas homogêneas (as soluções), bem como alguns tipos de substâncias poluentes, vírus e bactérias.

Perceba-se que os assuntos envolvidos nesta temática são multidisciplinares, perpassando para assuntos das disciplinas de biologia, educação ambiental, geografia:

“... E se filtrar a água?”

O estudante traz consigo o entendimento que a água pode ser filtrada e ser purificada (em alguma extensão) para consumo, neste momento fica sugestivo os assuntos de métodos de separação de misturas. No entanto, é importante destacar que os métodos de filtração comuns, presentes no cotidiano, podem não ser suficientes para obter os padrões de potabilidade de uma água. Com esta pergunta foi discutido os processos de tratamento de água das Estações de Tratamento de

Água.

- “Se não fosse poluído dava para eu tomar da água dele?”

Nessa pergunta o estudante acredita que o rio é poluído, mas também não sabe se pode tomar a água diretamente de um rio, mesmo não poluído. Ainda em processos de separação de misturas (o que ocorre nos filtros), e nesse momento surge a definição de potabilidade indicado para o consumo humano e para outros usos. Não se deve tomar águas dos rios, córregos e poços, principalmente das cidades, sem um adequado tratamento. A potabilidade da água é avaliada por um apanhando de testes químicos e bioquímicos para preencher os requisitos de potabilidade e ser utilizada para consumo humano. Sabemos que as águas da distribuição dos órgãos de saneamento no Brasil, as que chegam nas nossas residenciais, são consideradas potáveis, por sofrerem processos de tratamento físicos e químicos nas estações de tratamento (ETA) e adição de íons flúor para prevenção das cáries dentárias.

Com esta indagação “e tem peixes no rio?” foi discutido o conceito de pH, importante para a sobrevivência dos peixes e para a saúde dos ecossistemas presentes nos rios; também a definição de poluição em termos de concentração de substâncias presentes no rio, capaz de ter uma ação tóxica.

5.6 SEXTA ETAPA - REALIZAÇÃO DE PESQUISA TEÓRICA E SELEÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Nesta fase, os estudantes foram incentivados a realizar pesquisas teóricas para aprofundar os temas e selecionar os experimentos. A busca foi realizada utilizando os recursos disponíveis na escola — livros e acesso à internet via celular. Apesar das dificuldades enfrentadas, como a falta de acesso à internet por parte de alguns e a carência de fontes na biblioteca, foi notável a participação ativa e o engajamento na tarefa.

Este momento evidencia tanto o potencial quanto os desafios da implementação de metodologias ativas no contexto escolar brasileiro. A atitude dos estudantes em buscar autonomamente as informações alinha-se ao que Abrantes (1995) descreve como uma característica fundamental de um experimento investigativo: a autonomia, onde os alunos tomam decisões e assumem responsabilidades. Por outro lado, as limitações de infraestrutura encontradas são um reflexo dos desafios apontados por Krasilchik (2004) e Delizoicov (2002). A superação dessas barreiras, mesmo que

parcial, por meio da colaboração entre os estudantes e da mediação do professor, reforça que a intencionalidade pedagógica pode, em certa medida, contornar as limitações materiais.

A pesquisa foi realizada, no local escolar, em alguns poucos livros que os estudantes tiveram acesso na escola e pela internet. Os estudantes acessaram os websites e fizeram busca sobre os assuntos e experimentos, para aplicá-los no contexto da pesquisa. Alguns estudantes tiveram dificuldades na realização das pesquisas teóricas, porque não tinham celulares ou não tinham internet disponível. A biblioteca da escola também não possibilitou o acesso à internet e apresentou uma carência de fontes bibliográficas.

Foi observada uma participação ativa e bom engajamento neste momento da pesquisa. O professor acompanhou os estudantes neste processo de seleção dos assuntos para facilitar no processo de seleção dos experimentos.

Após as discussões da etapa anterior, os assuntos selecionados para aprofundamento envolveram os seguintes conteúdos químicos: matéria, substâncias, misturas homogêneas e heterogêneas, e métodos de separação. Além disso, foram abordados conceitos como solubilidade em água, concentração de soluções, turbidez e pH. A temática da poluição e contaminação da água foi central, explorando a potabilidade, os contaminantes solúveis e os impactos ambientais da poluição dos rios na sociedade.

Com base em suas próprias questões e observações, os estudantes, com a mediação do professor, escolheram alguns experimentos para investigar esses tópicos.

5.7 SÉTIMA ETAPA - APROFUNDAMENTO DA TEMÁTICA E DOS CONTEÚDOS

Após a seleção dos experimentos, foi necessário um aprofundamento teórico para garantir o correto desenvolvimento das práticas e a interpretação dos resultados. Os conteúdos abordados — definição de poluição, descarte de resíduos sólidos e a identificação de coliformes — demonstram a natureza interdisciplinar da problemática, conectando a Química à biologia e à educação ambiental.

Esta etapa é crucial para evitar o que Allchin (2011) critica como "meros rituais escolares", onde atividades práticas são desconectadas de problemas reais e de uma base teórica sólida. Ao aprofundar a temática, o professor garante que a experimentação não seja um fim em si mesma, mas uma ferramenta para a construção

de um conhecimento mais complexo e significativo, conforme a teoria de Ausubel (apud Souza, 2011). A fundamentação teórica prévia à prática é o que permite que os estudantes passem da simples observação de um fenômeno para a sua interpretação crítica, um dos objetivos centrais da alfabetização científica.

Após a seleção dos Experimentos foi necessário o aprofundamento envolvendo conteúdos de Química, biologia e ambiental para o desenvolvimento e interpretação dos resultados obtidos:

- Definição de poluição e tipos de poluição nos recursos hídricos;
- Descarte de lixos sólidos e tempo de decomposição;
- Teste de bactérias de *coliformes fecais*, *coliformes totais* e *coliformes termotolerantes*.

5.8 OITAVA ETAPA - REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS DE QUÍMICA E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

As atividades experimentais, mediadas pelo professor, foram realizadas no laboratório de ciências da escola, articulando teoria e prática por meio de pesquisa bibliográfica, experimentação e discussão coletiva.

Essa abordagem investigativa permitiu que os estudantes construíssem conhecimento de forma ativa e contextualizada, relacionando os conceitos científicos às problemáticas ambientais analisadas (Sasseron, 2020; Carvalho, 2021). Há a necessidade de práticas pedagógicas que conectem a teoria (conteúdo escolar) vida escolar cotidiana incentivando o pensamento crítico e a investigação científica.

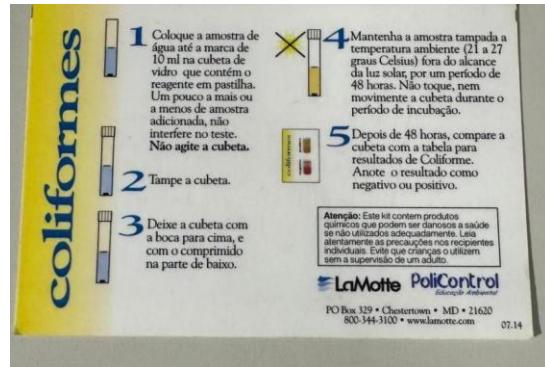
A prática experimental é fundamental para um ensino de ciências significativo, promovendo tanto a compreensão conceitual quanto o desenvolvimento de habilidades investigativas.

Foram coletadas, em garrafas PET, algumas amostras de água nas margens do rio Capibaribe. Os estudantes realizaram os experimentos de análise físico-química e biológica da água do rio: cor, potencial hidrogeniônico (pH), cloreto e indicadores de *coliformes fecais*.

Para o teste de *coliformes fecais*, uma alíquota de 10 mL da água do rio Capibaribe foi colocada numa cubeta e em seguida foi dissolvida numa substância indicadora. O kit foi cedido pela equipe do projeto Observatório dos rios da SOS Mata Atlântica que monitora trechos do rio Capibaribe. Na figura 07 seguinte observa o

procedimento da análise do kit.

FIGURA 07 – Procedimento do Teste de *Coliformes Fecais*



Fonte: Autor (2024)

O comprimido ficou atuando em um tempo de 48 horas para que o resultado fosse comparado com as informações padronizadas do reagente utilizado, como pode ser visto nas figuras abaixo.

Figura 08 – Teste de Coliformes Fecais com a adição do reagente indicador



Fonte: Autor (2024)

FIGURA 09– Teste de Coliformes Fecais após 48 horas de adição do reagente à amostra



Fonte: Autor (2024)

Os resultados das análises das amostras de água indicaram presença de coliformes fecais, confirmado pelo teste colorimétrico, conforme Figura 10 que apresentou coloração amarronzada característica. Essa reação evidencia a contaminação por bactérias do grupo coliforme, incluindo espécies como *Escherichia coli*, indicativas de poluição por esgoto doméstico ou dejetos animais (BRASIL, 2021). Conforme demonstrado em estudos recentes, essa contaminação microbiana representa risco à saúde pública, especialmente quando detectada em corpos hídricos próximos a áreas urbanas (Oliveira *et al.*, 2023; Santos; Pereira, 2022).

Figura 10 – Resultado e Análise do Teste de Coliformes Fecais



Fonte: Autor (2024)

Foi realizado o teste KT que avaliou a presença de coliformes totais (K) e coliformes termotolerantes ou fecais (T), que são indicadores de contaminação de matéria orgânica e esgoto domésticos, podendo conter outros patógenos perigosos,

indicando bactérias do grupo coliforme de origem ambiental ou fecal. Especificamente, a detecção de coliformes termotolerantes (que resistem a 44,5°C) confirmou contaminação recente por fezes humanas ou animais, conforme estabelecido pela legislação brasileira (BRASIL, 2021) e estudos recentes em microbiologia ambiental (Silva *et al.*, 2022). A presença desses microrganismos, particularmente *Escherichia coli*, é um marcador direto de poluição fecal e riscos à saúde pública. Esses resultados positivos permitiram aos estudantes responderem suas perguntas iniciais, conectando evidências científicas à realidade local, tal como proposto por Oliveira e colaboradores (2023) em pesquisas sobre educação ambiental baseada em problemas.

Os resultados analíticos demonstraram a presença de coliformes totais, indicando bactérias do grupo coliforme de origem ambiental ou fecal. Especificamente, a detecção de coliformes termotolerantes (que se desenvolvem a 44,5°C) confirmou contaminação recente por fezes humanas ou animais de acordo com os parâmetros estabelecidos pela Norma ABNT NBR 16.989:2023 (ABNT, 2023).

Foram realizados teste de pH e cloro utilizando kits. Foram coletadas alíquotas de 8 mL da amostra de água do rio Capibaribe e colocadas em cubetas graduadas do kit de pH e do kit de cloro. Em seguida foram gotejadas 4 gotas de cada reagente em cada uma das cubetas.

Figura 11 – Resultado do Teste de pH e Cloro



Fonte: Autor (2024)

O teste de pH refere-se a acidez ou alcalinidade da água. Desvios significativos acima do pH próximo de 7 podem afetar a vida aquática e indicar poluição. As amostras analisadas de pH estavam com um valor de pH igual a 6,8. Isso evidencia uma água levemente ácida. O pH na grande maioria dos cursos d'água varia entre 6 e 8, e pode ser alterado em períodos de chuva e intensa precipitação.

Os experimentos de análise de amostras de água do rio Capibaribe trouxeram

maior aprofundamento de conteúdos e conceitos científicos, maior aproximação do estudante com o objeto de aprendizagem, encantamento, engajamento, curiosidade, autonomia, espírito investigativo, indagações, compromisso e colaboração.

Dentro do contexto da poluição do rio Capibaribe a água é imprópria para tomar banho e para beber.

No conteúdo de potabilidade da água para o uso doméstico foi realizado um processo de simulação de uma Estação de Tratamento de Água (ETA), contemplando os conteúdos de química de substâncias e métodos de separação de misturas e sua importância para a obtenção de água potável.

Inicialmente, os estudantes montaram um sistema de filtração simples para separar uma mistura de água do rio e areia. A figura 12 mostra os materiais da filtração de água, uma garrafa pet transparente, pedaço de algodão, areia grossa, areia fina, areia preta, pedaços de pedra (britas). Foi realizada a filtração e observou-se a separação da areia, e a matéria orgânica insolúvel (folhas e galhos) do rio.

Figura 12 – Materiais alternativos para a experiência de filtração simples



Fonte: Autor (2024).

Na figura 13, tem-se a produção do protótipo proposto pelos estudantes como solução à poluição das águas do rio, para melhorar a qualidade da água.

Figura 13 – Realização da experiência de filtração simples



Fonte: Autor (2024)

A atividade seguiu as seguintes ações: a garrafa pet transparente foi cortada quase meio a meio; foi colocada a parte de saída do líquido da garrafa para o interior da outra parte da garrafa cortada; com algodão no fundo da saída, pedregulhos acima, e, em seguida, areia fina, areia grossa e areia preta. Para testar a eficiência do filtro despejou sal a água do rio; e procedeu a filtração com a visualização de uma amostra de água mais transparente comparada ao aspecto inicial. Neste momento foi falado do teste de turbidez da água.

Ao contrário do que se possa pensar, a destilação é, de fato, um processo de purificação, pois seu objetivo é separar a água de substâncias dissolvidas, como sais minerais e matéria orgânica, para obter um líquido mais puro, embora não necessariamente potável sem outras etapas de tratamento. Para a montagem do destilador artesanal, os estudantes utilizaram uma combinação de materiais recicláveis coletados no Rio Capibaribe e outros materiais foram comprados, tomando sempre os devidos cuidados de segurança. A construção foi feita pelos estudantes com o uso de luvas para evitar contaminações. Os materiais foram divididos em:

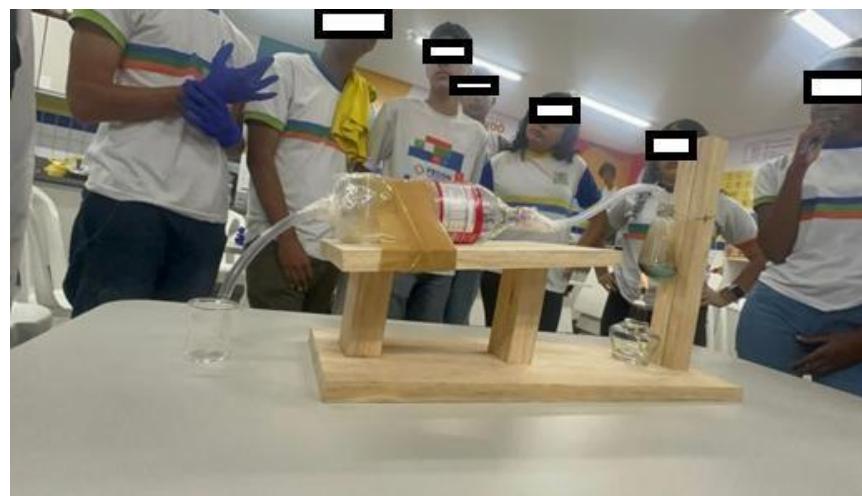
- Coletados nas margens do rio: Garrafas PET, que foram adaptadas para servir como balão de aquecimento (recipiente para a água a ser fervida) e a lamparina para servir como fonte de calor.

- Comprados:
 - Mangueira de soro: Utilizada como condensador, por onde o vapor de água passa para ser resfriado.
 - Madeira e pregos: Para construir a estrutura de suporte do equipamento, pois a madeira encontrada no rio estava muito suja.
 - Arames: Adquiridos para a montagem, a fim de evitar o risco de

Para a execução do experimento, uma amostra da água do Rio Capibaribe, que apresentava uma cor marrom escura, foi colocada no recipiente de aquecimento. Ao ser aquecida pela lâmparina, a água evaporou, deixando para trás os sais minerais e a matéria orgânica que lhe davam cor. O vapor de água foi então direcionado através de um sistema de resfriamento (condensador), onde voltou ao estado líquido e foi coletado em um novo recipiente.

O resultado foi a obtenção de uma água incolor, comprovando visualmente a eficácia do processo em separar a água dos solutos não voláteis que causavam a contaminação e a turbidez. A seguir, figura 14.

Figura 14 –Realização da experiência de destilação simples



Fonte: Autor 2024

No último encontro deveria ser realizada outra visitação ao rio Capibaribe para uma coleta seletiva dos resíduos sólidos da água, como visualizado. Contudo, a Escola não autorizou a saída dos estudantes para realização da prática, por dificuldades de tempo de aplicação dessa pesquisa de mestrado. O professor-

orientador coletou os resíduos sólidos às margens do rio Capibaribe e os estudantes coletaram os resíduos nas ruas próximo à escola e em suas residências as quais se localizam próximas à trechos do rio Capibaribe, conforme figura 15.

FIGURA 15 – Vista do Trecho do Rio Capibaribe em proximidades da escola



Fonte: Autor (2024)

Dentre os tipos de resíduos coletados e trazidos à escola, tem-se: Garrafas Pet, Mangueira de plástico, Latinhas de refrigerantes, Madeira, Isopor, Copos descartáveis, Vidro, Papelão, conforme a figura 16.

FIGURA 16 – Materiais coletados em proximidades da escola e do rio



Fonte: Autor (2024)

No projeto foi proposta a colocação de recipientes de coletas seletivas, conforme figura 17, com a separação dos resíduos por tipo diferente tipo de material. Nunca teve na escola.

Figura 17 – Proposta de descarte de coleta seletiva dos materiais retirados em proximidades da escola e do rio Capibaribe



Fonte: Autor (2024)

Nesta etapa de Coleta Seletiva, a discussão focou na natureza da matéria, nos tipos de materiais químicos presentes no lixo coletado e no tempo estimado de decomposição desses materiais na natureza. É fundamental ressaltar que esses valores podem variar significativamente em função de fatores ambientais como umidade, temperatura e a presença de microrganismos, conforme apontam estudos na área de gestão de resíduos sólidos (Freitas; Oliveira, 2023). Neste momento, os estudantes demonstraram grande surpresa e interesse, principalmente ao constatar que esses materiais eram encontrados nas margens do rio Capibaribe. Alguns ficaram visivelmente impressionados ao perceber que esses itens, aparentemente inofensivos, eram considerados poluentes e contribuíam diretamente para a degradação ambiental.

Surgiu o entendimento que a limpeza dos rios também é responsabilidade do cidadão que não deve jogar nenhum tipo de rejeito sólido e nem líquido. Foi debatida a questão que a poluição impacta no ecossistema dos rios, afetando o desenvolvimento dos peixes, podendo ter doenças veiculadas pela água contaminada e o impacto na pesca artesanal nas comunidades ribeirinhas.

Paralelamente, houve uma forte ênfase na conscientização sobre a política de conservação dos rios e no processo de reciclagem dos 3 Rs: reduzir, reutilizar e reciclar (Pereira; Souza, 2022).

Surgiu o entendimento que a limpeza dos rios também é responsabilidade do

cidadão que não se deve jogar nenhum tipo de rejeito nos rios.

O professor falou do impacto que a poluição dos rios causa no ecossistema afetando os mangues (como no rio Capibaribe) e o desenvolvimento dos peixes - causando o impacto na pesca artesanal das comunidades ribeirinhas, bem como as doenças que são veiculadas pela água contaminada.

O desenvolvimento dos experimentos abrangeu conteúdos de química como substâncias, misturas e processos de separação, além de uma abordagem aprofundada sobre polímeros (plásticos).

No quadro 28 a seguir, estão resumidos os temas que foram escolhidos, antes e durante o desenvolvimento da proposta, e os experimentos direcionados pelo professor.

Quadro 28 – Experimentos Direcionados pelo Professor

Temas	Experimento
Tipos de lixo urbano, Tempo de decomposição dos materiais na natureza	Análise do tempo de vida dos materiais e Coleta seletiva do lixo
Conceito de poluição e potabilidade da água Qualidade da água: Matéria, Separação de misturas, Tratamento de água das Estações de Tratamento de Água.	Processos de filtração, destilação, teste de pH, coliformes fecais, cloro, solubilidade (soluções), cor – turbidez.

Fonte: Autor (2024)

A resolução do CONAMA n.º 357/2005 utiliza alguns parâmetros de qualidade da água que compreende as análises biológicas e físico-químicas: turbidez, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, demanda bioquímica de oxigênio, fósforo total e coliformes termotolerantes. Verifica-se que contemplamos nos experimentos quase todos os parâmetros listados.

Os resultados indicam que a água do Rio Capibaribe, na região analisada, não atende aos padrões exigidos para Classe 2, sobretudo no que se refere à presença de coliformes fecais, turbidez. Essa situação evidencia a necessidade de ações integradas de saneamento, fiscalização e educação ambiental.

Do ponto de vista pedagógico, a realização das atividades experimentais contribuiu significativamente para a construção de conhecimentos científicos

relevantes e contextualizados. A participação ativa dos estudantes no processo investigativo promoveu o desenvolvimento de habilidades cognitivas e atitudes cidadãs.

Ao finalizarmos as atividades experimentais, na temática do rio Capibaribe, todas as perguntas e inquietações foram respondidas a partir da execução dos experimentos e também novos conceitos foram explorados corroborando com e Séré e colaboradores(2003) que as atividades experimentais são importantes recursos didáticos e pedagógicos que auxiliam numa melhor compreensão do cotidiano, com a construção de conceitos científicos, dando sentido ao mundo abstrato e formal das linguagens, fornece autonomia com relação aos objetivos técnicos, o desenvolvimento de técnicas de investigação e possibilita um olhar crítico sobre os resultados.

De maneira semelhante as palavras de Freitas Filho (2009) foram possível “transversalizar o tema meio ambiente no cotidiano escolar ultrapassando os limites da sala de aula e do ensino tradicional, contribuindo para a construção de conceitos e a sensibilização dos mesmos quanto à situação a poluição”.

Todas as indagações dos estudantes foram sendo respondidas a partir da execução dos experimentos; também novos assuntos foram explorados na temática do rio Capibaribe. Para Santos & München 2021 com a contextualização se estabelece a interação entre o saber científico e o cotidiano dos estudantes, com a contextualização o ensino e a aprendizagem adquire significado.

As respostas, como resultado da experimentação, resultando num Panfleto, como material de divulgação científica na escola e na comunidade ao redor da escola e como Produto Educacional foi produzido um E-book.

5.9 NONA ETAPA – QUESTIONÁRIO FINAL DE AVALIAÇÃO E AUTOAVALIAÇÃO

A análise do questionário final revelou o sucesso da abordagem pedagógica. O fato de todos os estudantes se sentirem engajados (sexta questão) corrobora com a afirmação de

Araújo e Lima (2024) de que a aprendizagem ativa e contextualizada transforma o estudante em construtor do seu próprio conhecimento. A percepção de que contribuíramativamente (sétima questão), mesmo que em intensidades variadas, reflete o desenvolvimento de habilidades colaborativas, proativas e comunicativas.

As respostas sobre os desafios enfrentados, como as saídas de campo e a materialização dos projetos (questão onze), indicam que os estudantes valorizaram precisamente os momentos em que a aprendizagem se tornou mais autêntica e complexa, conforme as características de um experimento investigativo descritas por Abrantes (1995). A alta taxa de satisfação geral (questão treze) e o fato de as práticas experimentais e a "solução de problemas vividos por eles" terem sido os aspectos mais apreciados (questão doze) demonstram que a metodologia não só promoveu a aprendizagem de conteúdos, mas também o "encantamento com o saber" defendido por Petrucci e Batiston (2006), cumprindo o objetivo de tornar o ensino de Química significativo e transformador. Na primeira parte visava compreender os conteúdos construídos nos encontros. Com isso, perguntou-se se foi compreendido os principais problemas de poluição que afetam o rio Capibaribe. Obteve-se como respostas 20 indicaram que compreenderam completamente e 7 parcialmente.

Na segunda questão, procurou-se entender se o estudante saberia a importância de evitar o descarte inadequado de lixo urbano no rio. Tendo como respostas 15 estudantes indicando que sim e 12 deles parcialmente. Isso revelou o quanto foi significativa as atividades experimentais desenvolvidas, como também ainda precisaria aprofundar aspectos socioambientais para melhores compreensões do descarte inadequado do lixo urbano nos rios que cortam as cidades.

Na questão terceira, buscou-se saber se os estudantes conseguiriam explicar o que seriam os *coliformes fecais* e como impactam a saúde pública. 10 dos respondentes indicaram que sim, 15 indicaram parcialmente e 2 disseram não saber. A abordagem usada nesta pesquisa tem um potencial interdisciplinar, as análises experimentais envolvem as interrelações de conteúdos disciplinares, mas são fundamentalmente essenciais para compreensão da realidade complexa envolvendo a temática da poluição das águas do rio Capibaribe cuja natureza é interdisciplinar.

Na quarta questão, perguntou-se se os estudantes aprenderam sobre as etapas de tratamento de água e a sua importância para a saúde humana. Do respondido, obteve-se 25 indicando sim e 2 parcialmente. Na quinta questão, questionou-se sobre o entendimento de como a coleta seletiva contribui para a preservação do meio ambiente. Da turma, 27 dos estudantes indicaram que sim.

Aqui percebe-se o quanto questões relacionadas ao meio ambiente e etapas de tratamento de água têm sido mais comuns no estudo de ciências no ensino

fundamental, favorecendo mais aproximação dos estudantes a esses debates sobre a água e o lixo. Não somente para essa disciplina, mas também em outras. Visto que a questão ambiental vem sendo apresentada como tema transversal desde os parâmetros curriculares nacionais de ciências do ano de 1997 e inserida nas práticas, ainda que de modo pouco atitudinal como apontam as pesquisas e vem sendo objeto de estudo em diversas investigações de conclusão de curso de graduação, mestrado e doutorado, ao longo desses anos.

Na segunda parte do questionário, procurou-se conhecer sobre o envolvimento e participação dos estudantes. Perguntou-se se o estudante se sentia engajado durante a elaboração do projeto de sua equipe, na sexta questão- todos estudantes marcaram que sim. Isso demonstra como a experimentação promove engajamento nas atividades propostas nos encontros. A aprendizagem ativa, autônoma e colaborativa, aliada à contextualização, é crucial no processo de ensino. Essa abordagem não só torna as aulas mais atrativas e instigantes, mas também transforma o estudante de mero receptor do saber em construtor de seu próprio conhecimento (Araújo; Lima, 2024).

Na sétima questão, buscou saber se os estudantes contribuíramativamente com as discussões e atividades do projeto. Tendo 18 indicando que sim e 9 parcialmente. Não obstante, nem todos atuam com a mesma intensidade na execução das atividades propostas, embora favoreça o desenvolvimento de habilidades comunicativas, proativas, colaborativas e persuasiva, a contribuição de cada um foi sendo variada ao longo do processo, conforme o perfil socioemocional do estudante no encontro. Pela participação dos estudantes, foi percebida uma boa participação no momento dos experimentos e da discussão dos resultados discutidos.

A oitava questão visava saber sobre a participação dos estudantes nas atividades da separação do lixo e a montagem dos sistemas. Dos respondentes, 25 disseram que sim e 2 indicaram parcialmente. As atividades práticas possibilitam funções diferentes na execução por parte dos envolvidos, alguns estudantes soam mais dinâmicos outros mais retraídos e acompanham o grupo, além do interesse e motivação serem diferentes entre cada indivíduo percebe-se que houve um bom envolvimento dos estudantes do início ao fim dos experimentos.

Na parte terceira, foram analisadas as reflexões pessoais dos estudantes sobre a vivência da aprendizagem baseada em projetos. Na nona questão, procurou-se saber

se o projeto desenvolvido pelo estudante favoreceu o aumento da conscientização dos impactos da poluição no rio Capibaribe. Tendo todos respondendo que sim, provavelmente por terem vivido constantemente esse debate para redução dos impactos do lixo urbano nos rios.

A décima questão, objetivou-se conhecer se o estudante acredita que poderá aplicar os conhecimentos construídos no desenvolvimento dos projetos em sua vida diária a fim de ajudar na preservação do rio. Dos respondentes, tem-se 12 indicando sim e 15 parcialmente. Isso provavelmente se deu devido a relação do conteúdo com o contexto e problemas reais da vida, no entanto, ainda se encontra parte significativa indicando não conseguirem aplicar totalmente. O que revela a natureza da linguagem e estratégias usadas quando se aprofundavam os conteúdos e conceitos e suas relações com os contextos.

O nível de abstração da aprendizagem ainda pode não ser totalmente plena, bem como diferente de pessoa a pessoa. Acarretando formas distintas de apreender o conteúdo e as relações interdisciplinares complexas socioambientais. Ainda assim, foi significativo o número de estudantes indicando que sim, revelando o potencial replicador dos projetos desenvolvidos com o cotidiano dos estudantes.

Na questão onze, procurou-se conhecer quais foram os principais desafios que o estudante enfrentou durante a realização do projeto de pesquisa vivido. Dentre eles, indicaram as saídas de campo e o contato com o rio junto com as equipes, materializar os projetos a partir do material coletado e o tempo de execução ter sido pouco para os estudantes.

Enquanto na questão doze foi perguntado sobre os aspectos que mais gostaram do projeto de mestrado desenvolvido. Dentre as indicadas, as que mais apareceram foram as práticas experimentais, aprender química e dar solução aos problemas vividos por eles e sua comunidade.

Na questão treze, buscou conhecer a sugestão dos estudantes sobre melhorias em futuros projetos acerca de poluição e preservação ambiental. Do respondido, indicaram mais proximidade com aulas de campo nos rios ou totalmente neles, atividades experimentais e recursos tecnológicos outros, como a inteligência artificial.

Na quarta parte, procurou-se fazer uma avaliação geral em uma escala de satisfação, sendo 1 para muito insatisfeito, 2 para insatisfeito, 3 para neutro, 4 para satisfeito e 5 para muito satisfeito. Tendo respondido 20 que estavam muito satisfeitos e 7 satisfeitos.

Tabela 1 - Resultados da Autoavaliação dos Questionários Diagnósticos

Questão	Tema Investigado	Principais Respostas (%)
1	Impactos da contaminação na saúde	92,3% associação com doenças transmitidas pela água 7,7% problemas de pele
2	Percepção sobre mudanças pós-enchentes	76,9% sim 23,1% não
3	Problemas ambientais prioritários	92,3% contaminação da água e acúmulo de lixo 30,8% desmatamento/erosão
4	Medidas para melhoria	100%: Melhoria na coleta de lixo e experimentações de despoluição 76,9%: Campanhas e reflorestamento
5	Causas da poluição	69,2% descarte inadequado de resíduos 30,8% falta de conscientização

Fonte: O autor (2025)

6. CONCLUSÃO

A partir das visitas ao Rio Capibaribe, os estudantes investigaram a qualidade da água e os impactos da poluição. Fundamental, neste momento, identificar suas concepções prévias, que se mostraram fragmentadas. Esse direcionamento foi essencial para o trabalho experimental, permitindo a construção de conhecimentos mais consistentes.

Portanto, esta pesquisa não apenas mostrou que a análise pedagógica em sala de aula transformou o problema socioambiental da poluição do Rio Capibaribe em um laboratório vivo para o aprendizado de Química, mas também funcionou na prática. O estudo concluiu, confirmando pesquisas anteriores de que manter um modelo de uma realidade tão presente e premente para a qual o currículo foi direcionado, despertou o engajamento dos estudantes e facilitou um aprendizado que foi além da memorização imediata, alcançando níveis mais elevados de compreensão crítica e cidadania. Isso foi, de fato, uma demonstração de quão eficaz foi a abordagem, entregando resultados de

aprendizagem.

Além disso, o processo de desenvolvimento da experimentação com esta abordagem, revelou uma mudança extraordinária nos estudantes, que se tornaram os protagonistas finais. Isso começou a partir de uma perspectiva muito parcial sobre a poluição, limitada a algumas de suas partes mais visíveis, e desenvolveu-se em direção a uma análise integrada do que estava acontecendo. O desenvolvimento de habilidades como análise de dados e investigação foi um resultado direto da aplicação do conhecimento teórico em um contexto real. O fato de o problema ser relevante e desafiador para os estudantes, somado à necessidade de colaboração mútua, foi fundamental para a construção dessas competências. Os estudantes conseguiram traduzir conceitos abstratos, como o pH da água, em impactos reais no ecossistema e conectaram o descarte inadequado de lixo a problemas cotidianos, como enchentes e bueiros entupidos. Essa conexão direta entre ciência e vida foi o gatilho que despertou o engajamento e a dedicação dos estudantes pela preservação do Rio Capibaribe.

Como resultado prático e legado desta pesquisa, toda a experiência foi compilada em um e-book. Este material, contudo, não é uma mera coleção de lições, mas sim um recurso didático, derivado das vivências de aprendizagem dos próprios estudantes, criado para fomentar e informar tanto outros professores quanto a comunidade. Dessa forma, o trabalho cumpre seu objetivo mais amplo: demonstrar que é possível pavimentar um caminho para uma educação transformadora, onde, ao cuidarem de seu rio, os estudantes se reconhecem como protagonistas de sua própria história.

7 REFERÊNCIAS

ABRANTES, P. **Ciência e educação**: em busca do sujeito ativo. Belo Horizonte: Autêntica, 1995.

ALBERTS, B. *et al.*. **Molecular biology of the cell**. 4. ed. New York: Garland Science, 2002.

ALLCHIN, D. Evaluating knowledge of the nature of science: a conceptual and methodological critique. **Science Education**, v. 95, n. 3, p. 518-562, 2011.

CHIZZITI, Antônio. Pesquisa em Ciências Humanas e Sociais. 2^a. Edição: Editora Cortez, 2006. Antônio Carlos Gil - Como Elaborar Projetos de Pesquisa. 4^a Edição. SÃO PAULO. EDITORA ATLAS S.A. 2002

ARAÚJO, P. R.; LIMA, T. F. **Metodologias ativas no ensino de ciências**: experiências e reflexões. Belo Horizonte: Editora Saber Ativo, 2024.

ARAGÃO, R. M. R. A experimentação no ensino de Ciências.

SANTOS, W. L. P.; MALDANER, O. A. (Org.). **Ensino de Química em foco**. Ijuí: Editora Unijuí, 2008. p. 123-145.

ARRHENIUS, S. Über die Dissociation der in Wasser gelösten Stoffe. **Zeitschrift für Physikalische Chemie, Stöchiometrie und Verwandtschaftslehre**, Leipzig, v. 1, p. 631-648, 1887.

ATKINS, P. W. **Princípios de Química**: Questões e Respostas. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

BAIRD, C.; CANN, M. **Environmental Chemistry**. 9th ed. W. H. Freeman and Company, 2016.

BARAB, S.; SQUIRE, K. Design-based research: putting a stake in the ground. **Journal of the Learning Sciences**, v. 13, n. 1, p. 1-14, 2004.

BARBOSA, E. S. **Introdução à química analítica**. Salvador: EDUFBA, 2010.

BARD, A. J.; FAULKNER, L. R. **Electrochemical methods**: fundamentals and applications. 2. ed. New York: John Wiley & Sons, 2001.

BARROS, P. C. *et al.* Qualidade da água de rios e reservatórios: uma revisão sobre os parâmetros físico-químicos e biológicos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 320-327, mar. 2012.

BASSOLI, F. **O laboratório de química na escola: desafios e possibilidades.** São Paulo: Cortez, 2014.

BASTOS DA SILVA, R. R. *et al.* Experimentação e metodologias ativas no ensino de química: uma proposta para o desenvolvimento de competências. **Revista Brasileira de Ensino de Química**, v. 19, n. 1, p. 45-60, 2024.

BLACK, J. **Lectures on the Elements of Chemistry.** Edinburgh: William Creech, 1761.

BLUMENFELD, P. C. *et al.* Motivating project-based learning: sustaining the doing, supporting the learning. **Educational Psychologist**, v. 26, n. 3-4, p. 369-398, 1991.

BOLFER, M. M. M. O. **Reflexões sobre a prática docente:** estudo de caso sobre a formação continuada de professores universitários. 2008. Tese (Doutorado em Educação) – Programa de Pós-Graduação em Educação, Universidade Metodista de Piracicaba, Piracicaba, 2008.

BOYD, C. E. **Water quality in ponds for aquaculture.** 2. ed. Birmingham: Auburn University, 2000.

BRASIL. Ministério da Educação. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** ciências naturais. Brasília: MEC, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEB, 1997.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEB, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEB, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Básica. **Parâmetros Curriculares Nacionais:** Ciências Naturais. Brasília: MEC/SEB, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Básica. Departamento de Políticas de Ensino Médio. **Orientações Curriculares para o Ensino Médio.** Brasília, v. 3, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação e Tecnológica (Semtec). **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BRASIL. Ministério da Educação (MEC). Secretaria de Educação Média e Tecnológica (Semtec). **PCN + Ensino médio:** orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais – Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Brasília: MEC/Semtec, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021**. Define padrões de potabilidade de água, incluindo limites para coliformes. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 4 maio 2021.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais**: Temas Transversais, meio ambiente. Brasília: SEF, 1997.

BROCK, T. D. **Biology of Microorganisms**. 5th ed. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1978.

BROWNE, M. A. *et al.* Accumulation of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 21, p. 9175-9184, 2011.

BRØNSTED, J. N. Einige Bemerkungen über den Begriff der Säuren und Basen. **Recueil des Travaux Chimiques des Pays-Bas**, Leiden, v. 42, n. 8-9, p. 718-728, 1923.

BRUNER, J. S. **O processo da educação**. São Paulo: Editora Nacional, 1960.

BURGER, J. *et al.* Mercury in fish from US coastal waters: Geographic patterns and ecological correlates. **Environmental Research**, v. 110, n. 6, p. 574-585, jul. 2010.

BUTZKE, I. J. *et al.* **Educação ambiental**: um estudo de caso sobre a percepção ambiental de estudantes de ensino médio. Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 2001.

BYBEE, R. W. **The BSCS 5E Instructional Model**: Origins and Effectiveness. Colorado Springs, CO: BSCS, 2006.

CAMPBELL, N. A.; REECE, J. B. **Biology**. 6. ed. San Francisco: Pearson Education, 2002.

CARPENTER, S. R. **Regime Shifts in Lake Ecosystems**: Pattern and Variation. Oldendorf: Ecology Institute, 2003.

CARRAHER, D. W. *et al.* Caminhos e descaminhos no ensino de ciências. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 37, n. 6, jun. 1986.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. **Ensino de ciências por investigação**: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2013.

CETESB. **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**
–
2023. São Paulo: CETESB, 2023.

CHANG, R. **Química geral**: conceitos essenciais. 6. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

- CHASSOT, Attico. **A Ciência através dos tempos**. São Paulo: Editora Moderna, 2003.
- CHIRAS, D. D. **Environmental Science**. 9th ed. Jones & Bartlett Learning, 2010.
- CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18 mar. 2005.
- CONRADO, A. P. et al. Educação ambiental e o desenvolvimento de competências para a sustentabilidade: um estudo de caso no ensino fundamental. **Revista Brasileira de Educação Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 123-138, 2014.
- CORRELL, D. L. The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: a review. **Journal of Environmental Quality**, v. 28, n. 1, p. 261-266, jan./fev. 1999.
- CRANE, C. Teaching chemistry in context: lead poisoning and the role of experimental design. In: ANNUAL MEETING OF THE NATIONAL ASSOCIATION FOR RESEARCH IN SCIENCE TEACHING, 2015, Chicago. **Proceedings** [...]. Chicago: NARST, 2015.
- DELIZOICOV, D. **Ensino de ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Cortez, 2002.
- DEWEY, J. **Democracia e educação**. São Paulo: Melhoramentos, 1938.
- DIAS, lessa S.; RIOS, Carla A. T. B. Educação ambiental através das aulas de química: a utilização de temas ambientais no contexto da Química ambiental no nível médio. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 5., 2018. Campina Grande: Realize, 2018.
- ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy**: an economic and business rationale for an accelerated transition. Cowes, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- ERGUL, N. R.; KARGIN, E. K. The effect of project based learning on students' science success. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v. 141, p. 537-541, 2014.
- ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.
- FAZENDA, I. C. A. **Interdisciplinaridade**: História, Teoria e Pesquisa. Campinas: Papirus, 2011.
- FETTER, C. W. **Applied hydrogeology**. 3. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1999.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**. Berlin: Springer-Verlag, 1979.

FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia**: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 71. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2019.

FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, C. F. **Resíduos sólidos urbanos**: impactos ambientais e alternativas sustentáveis. Curitiba: CRV, 2023.

FREITAS FILHO, J. ; SANTOS, J C.M.M.F.; Freitas, J. C. R.; MELO, A.C. N. **POLUIÇÃO DO RIO UNA: UMA ABORDAGEM DIDÁTICA DE QUESTÕES AMBIENTAIS PARA A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS QUÍMICOS NO ENSINO MÉDIO**. Disponível em: <http://www.revistaea.org/artigo.php?idartigo=690> ; 2009. Acesso em: 29 maio 2025.

GALIAZZI, M. C.; GONÇALVES, F. P. A natureza da ciência no ensino de química: uma abordagem histórico-filosófica. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 32-38, nov. 2004.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, e1700782, jul. 2017.

GILBERT, J. K. On the nature of "context" in chemical education. **International Journal of Science Education**, v. 28, n. 9, p. 957-976, 2006.

GONZALEZ, B. C.; SOARES, M. H. F. B. O Estado da Arte Sobre a Utilização de Jogos Para o Ensino de Química Ambiental e Educação Ambiental. **Revista Brasileira De Pesquisa Em Educação Em Ciências**, [s. l.], v. 23, e44692, p. 1–30, 2023. DOI: 10.28976/1984-2686rbpec2023u897926. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/44692>. Acesso em: 29 maio 2025.

GREEN, J.; FINLAY, B. J. **Eutrophication**: Causes, Consequences and Control. Dordrecht: Springer, 2010.

HARRIS, D. C. **Quantitative chemical analysis**. 9. ed. New York: W. H. Freeman and Company, 2016.

HECKY, R. E.; KILHAM, P. Nutrient limitation of phytoplankton in freshwater and marine environments: a review of recent evidence on the effects of enrichment. **Limnology and Oceanography**, v. 33, n. 4, p. 796-822, 1988.

HOFFMANN, M. R. **Environmental Implications of Trace Elements in Water**. New York: Wiley, 1999.

HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, n. 1, p. 28-54, 2004.

HOFSTEIN, A.; MAMLOK-NAAMAN, R. The laboratory in science education: the state of the art. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 8, n. 2, p. 105-115, 2007.

HODSON, D. Learning science, learning about science, doing science: Different goals for science education. **Science & Education**, v. 23, n. 3, p. 577-590, 2014.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA (INEP). **Censo Escolar 2022**: Resumo Técnico. Brasília, DF: Inep, 2022. Disponível em: https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2022.pdf. Acesso em: 29 maio 2025.

JACOBI, P. R. Educação ambiental: o desafio da construção de um pensamento crítico, complexo e reflexivo. **Educação e Pesquisa**, São Paulo, v. 31, n. 2, p. 233-250, maio/ago. 2005.

JOHNSON, D. W.; JOHNSON, R. T. **Learning together and alone**: cooperative, competitive, and individualistic learning. 5. ed. Boston: Allyn and Bacon, 1999.

JOHNSTONE, A. H. Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem.

Journal of Computer Assisted Learning, v. 7, n. 2, p. 75-83, 1991.

JONES, M. M. et al. **Chemistry and chemical reactivity**. 8. ed. Belmont: Brooks/Cole, Cengage Learning, 2011.

JUSTI, R. S. La enseñanza de ciencias basada en modelos: una revisión de la literatura.

Enseñanza de las Ciencias, v. 24, n. 2, p. 173-189, 2006.

KOLB, D. A. **Experiential learning**: experience as the source of learning and development. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1984.

KRASILCHIK, M. **Prática de ensino de biologia**. 4. ed. São Paulo: EDUSP, 2004.

LAPLACE, P. S. **Traité de mécanique céleste**. Paris: Gauthier-Villars, 1805. v. 4.

LATINI, R. M.; SOUSA, A. L. O ensino de química e o meio ambiente: uma análise dos artigos da revista Química Nova na Escola. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 251-257, nov. 2011.

LE CHATELIER, H. Sur l'équilibre chimique. **Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences**, Paris, v. 107, p. 774-778, 1888.

LEHNINGER, A. L. **Biochemistry**. New York: Worth Publishers, 1975.

LEVINE, J. R. **Biology**: the unity and diversity of life. 12. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2009.

LEWIS, G. N. **Valence and the structure of atoms and molecules**. New York: Chemical Catalog Company, 1923.

LIBÂNEO, J. C. **Didática**. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2021.

LIMA, K. S. **Compreendendo as concepções de avaliação de professores de Química através da teoria dos construtos pessoais**. 2008. Pesquisa (Mestrado em Ensino de Ciências) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.

LIMA, E.B.N.R. Modelagem integrada para gestão da qualidade da água na bacia do Rio Cuiabá. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LOPES, A. R.; ARAÚJO, M. P.; MEDEIROS, L. R. Química ambiental no ensino médio: um olhar sobre a educação ambiental e os problemas ambientais que afetam a cidade de Itajá/RN. In: COINTER PDVL, 7., 2020, Recife. **Sociedade 5.0**: educação, ciência, tecnologia e amor. Recife: Even3, 2020. p. 1-12. DOI: <https://doi.org/10.31692/2358-9728.VIICOINTERPDVL.0332>.

LOWRY, T. M. The properties of acids and bases. **Transactions of the Faraday Society**, London, v. 19, p. 250-264, 1923.

MADIGAN, M. T. *et al.* **Brock biology of microorganisms**. 9. ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

MAINIER, R. J.; MAINIER, F. B. Environmental chemistry applied to High School through laboratory experiments. **Seven Editora**, [s. l.], p. 542–557, 2024. Disponível em: <https://sevenpublicacoes.com.br/editora/article/view/4583>. Acesso em: 15 ago. 2024.

MACKAY, D. **Environmental modeling of organic contaminants**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001.

MALANER, O. A. **A pesquisa em ensino de química: sua abrangência e identidade**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2000.

MALDANER, O. A.; ZANON, L. B. **Ensino de Química em foco**: experimentação, contextualização e interdisciplinaridade. 2. ed. Ijuí: Ed. Unijuí, 2021.

MANAHAN, S. E. **Environmental Chemistry**. 9th ed. CRC Press, 2010.

MARQUES, L. Decrescimento. IV – Os limites da água. Campinas: Unicamp, 30 jul. 2018. Disponível em: <https://unicamp.br/unicamp/ju/artigos/luis-marques/decrescimento-iv-os-limites-da-agua/>. Acesso em: 29 maio

,0 2025.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering**: Treatment and Reuse. 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2003.

MILLAR, R. Analysing practical activities to assess and improve their effectiveness. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 10, n. 3, p. 61-75, 2010.

MILLER, G. T.; SPOOLMAN, S. E. **Environmental Science**. 13th ed. Brooks/Cole, Cengage Learning, 2012.

MIZUKAMI, M. G. N. **Ensino**: as abordagens do processo. São Paulo: EPU, 1986.

MONTEIRO, V. *et al.* Bioacumulação de mercúrio em peixes e aves marinhas de ecossistemas costeiros brasileiros. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 10, p. 3277-3286, 2017.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MORES, D.; ROSA, R. A.; MATOS, S.; VANIN, A. B. Avaliação da aplicação de oficinas na minimização de dificuldades de aprendizagem no ensino da química. **Anuário Pesquisa E Extensão Unoesc Joaçaba**, Joaçaba, v. 1, n. 1, e12802, 2016.

MORTIMER, E. F. **Alfabetização científica**: uma perspectiva para o ensino de química. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

NRIAGU, J. O. A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals. **Nature**, v. 338, n. 6218, p. 47-49, mar. 1989.

NUNES, Ana Ignez Belém Lima. **Psicologia da aprendizagem**. 3. ed. rev. Fortaleza: EDUECE, 2015.

PAPERT, S. **Mindstorms**: children, computers, and powerful ideas. New York: Basic Books, 1980.

PAULING, L. **The nature of the chemical bond**. 3. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1960.

PELEGRINI, R. Aspectos do processo de desinfecção da água com cloro: revisão bibliográfica. **Química Nova**, v. 33, n. 4, p. 950-958, jun. 2010.

PEREIRA, E. F. **Educação Ambiental**: princípios e práticas. São Paulo: Cortez, 2003.

PEREIRA, L. C.; SOUZA, V. K. **Educação ambiental e gestão de resíduos**: perspectivas pedagógicas. Rio de Janeiro: Editora Cidadania, 2022.

PEREIRA, M. S. **A experimentação no ensino de química**: uma análise dos desafios e das perspectivas. Curitiba: CRV, 2010.

PETRUCCI, V. B. C.; BATISTON, R. R. **Estratégias de ensino e avaliação de aprendizagem em contabilidade**. São Paulo: Saraiva, 2006.

PIAGET, J. **A epistemologia genética**. São Paulo: Martins Fontes, [197_?].

POZO, J. I.; CRESPO, M. A. G. **A aprendizagem e o ensino de ciências**: Do Conhecimento Cotidiano ao Conhecimento Científico. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

QUADROS, M. L. A água como tema gerador do conhecimento químico. **Química Nova na Escola**, n. 20, p. 23-31, maio 2004.

REIS, J. C.; MAROTI, P. S. O PIBID-Química e o ensino de química na escola pública: um relato de experiência. **Química Nova na Escola**, v. 33, n. 4, p. 270-275, nov. 2011.

ROENTGEN, W. C. Ueber die Anormalitäten der Dichtigkeit des Wassers. **Annalen der Physik und Chemie**, Leipzig, v. 45, n. 4, p. 913-928, 1892.

SALOMONS, W.; FÖRSTNER, U. **Metals in the Hydrocycle**. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

SANTOS, A. O.; SILVA, R. P.; ANDRADE, D.; LIMA, J. P. M. Dificuldades e motivações de aprendizagem em Química de estudantes do ensino médio investigadas em ações do (PIBID/UFS/Química). **Revista Scientia Plena**, v. 9, n. 7, p. 1-6, 2013.

SANTOS, L. **Gestão de recursos hídricos e qualidade da água**. São Paulo: Érica, 2021.

SANTOS, L. F. **Química orgânica ambiental**: princípios e aplicações. São Paulo: Cengage Learning, 2023.

SANTOS, W. L. P.; MENEZES, L. C. **Ensino de química em perspectiva**: abordagens e práticas. Campinas: Papirus, 2020.

SANTOS, W. L. P.; SCHNETZLER, R. P. A educação em química no Brasil: um balanço histórico e perspectivas. **Química Nova na Escola**, n. 18, p. 21-27, nov. 2003.

SANTOS, M.M; Gastaldini, M. C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. **Eng. Sanit. Ambient.** 19 (3). Jul-Sep 2014

SASSERON, L. H. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 17, n. esp., p. 49-67, nov. 2015.

SASSERON, L. H.; CARVALHO, A. M. P. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula.** São Paulo: Cengage Learning, 2021.

SAVERY, J. R.; DUFFY, T. M. Problembased learning: an instructional model and its constructivist framework. **Educational Technology**, v. 35, n. 5, p. 31-38, 1995.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. **Chemistry for environmental engineering and science.** 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2011.

SCHNETZLER, R. P. A pesquisa em educação em química e a formação de professores: desafios e perspectivas. **Química Nova na Escola**, v. 34, n. 4, p. 248-254, nov. 2012.

SHWARTZ, Y.; BEN-ZVI, R.; HOFSTEIN, A. The use of scientific literacy taxonomy for assessing the development of chemical literacy among high-school students. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 7, n. 4, p. 203-225, 2006.

SILVA, A. B. *et al.* Indicadores microbiológicos de contaminação fecal em recursos hídricos: uma revisão para o contexto brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 27, n. 3, p. 521-534, 2022.

SILVA, D. A.; IDALINO, F. T.; SILVA, J. P. B. Aulas práticas de microscopia no ensino fundamental: uma abordagem interdisciplinar em biologia. **Revista Ensino de Ciências e Matemática**, v. 14, n. 3, p. 1-15, 2023.

SILVA, Jaqueline Monteiro da; RIOS, Carla Alice Theodoro Batista; BRITO, Jefferson Almeida de. **A química ambiental sob a ótica dos estudantes do curso técnico integrado em mineração do IFAP.**

2020. Disponível em:
<http://repositorio.ifap.edu.br/jspui/handle/prefix/251>. Acesso em: 29 maio 2025.

SILVA, João; SANTOS, Ana. O ensino de química e a formação do cidadão. **Revista Brasileira de Educação em Ciências**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 123-135, maio/jun. 2018.

SILVA, M. O. **A importância do ensino de química na formação cidadã.** Recife: Editora do Saber, 2020.

SILVA, R. A. **A importância da interdisciplinaridade no ensino de ciências para a compreensão da poluição ambiental.** [S. l.]: [s. n.], 2020.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. S. **Principles of instrumental analysis.** 6. ed. Belmont: Thomson Brooks/Cole, 2007.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Fundamentos de química analítica.** 8. ed. São Paulo: Thomson Learning, 2002.

SOARES, S. S. *et al.* Avaliação de métodos para determinação de cloro residual livre

em águas de abastecimento público. **Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas**, Londrina, v. 37, n. 1, p. 119-130, jan./jun. 2015.

SOLA, L. C. A educação ambiental no currículo escolar do ensino médio da rede estadual de Minas Gerais. **Ambiente & Educação**, Rio Grande, v. 19, n. 2, p. 18-32, jul./dez. 2014. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/download/4025/3697/16880>. Acesso em: 29 maio 2025.

SOUZA, C. E. **Análise de água e efluentes: aspectos teóricos e práticos**. Rio de Janeiro: LTC, 2022.

SOUZA, R. A. **Teoria da Aprendizagem Significativa e Experimentação em sala de aula: integração teoria e prática**. Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia. Pesquisa, 2011.

SOUZA, S. E. O uso de recursos didáticos no ensino escolar. In: JORNADA DE PRÁTICA DE ENSINO, 4., 2010, Maringá. **Anais** [...]. Maringá, 2010. p. 110-114.

STUMM, W.; MORGAN, J. J. **Aquatic chemistry**: chemical equilibria and rates in natural waters. 3. ed. New York: John Wiley & Sons, 1996.

TASKIN, M. E. Environmental education in Turkey: current situation and future perspectives. **Environmental Education Research**, v. 11, n. 1, p. 77-87, 2005.

THOMPSON, R. C. *et al.* Lost at Sea: Where Is All the Plastic? **Science**, v. 304, n. 5672, p. 838, 2004.

TYNDALL, J. **Heat considered as a mode of motion**. New York: D. Appleton and Company, 1863.

UNESCO. **Declaração de Tbilisi**. Tbilisi: UNESCO, 1977. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000032731> por. Acesso em: 29 maio 2025.

VAN CAUWENBERGHE, L. *et al.* Microplastics in sediments: a review of techniques, occurrence and effects. **Marine Environmental Research**, v. 104, p. 55-66, 2015.

VIECHENESKI, J. P.; CARLETTTO, M. R. **Desafios e práticas no ensino de ciências nos anos iniciais**. Curitiba: Appris, 2022.

VOLLENWEIDER, R. A. Advances in Defining Critical Loading Levels for Phosphorus in Lake Eutrophication. **Memorie dell'Istituto Italiano di Idrobiologia**, v. 33, p. 53-83, 1976.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1934.

WATSON, M. L.; MALSE, V. T. **Environmental chemistry**. Oxford: Oxford University Press, 2005.

WETZEL, R. G.; LIKENS, G. E. **Limnological analyses**. 3. ed. New York: Springer, 2000.

WUILLDA, F. M. **Educação Ambiental: perspectivas e desafios**. São Paulo: Cortez, 2016.

APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO DE SONDAGEM

Nome do estudante

01. Como você acha que a contaminação da água do Rio Capibaribe pode afetar a saúde das pessoas?

- Doenças transmitidas pela água
- Problemas de pele
- Problemas respiratórios
- Outros

02. Você percebeu alguma mudança na qualidade da água do Rio Capibaribe após as inundações de maio de 2022?

- a) Sim
- b) Não

03. Quais problemas ambientais você acredita que estão afetando o Rio Capibaribe?

(Selecione todas as opções que se aplicam)

- Acúmulo de lixo
- Contaminação da água por esgotos
- Desmatamento
- Erosão do solo
- Outros

04. Quais medidas você sugere para reduzir a poluição no Rio Capibaribe? (Selecione todas as opções que se aplicam)

- Campanhas de conscientização
- Melhoria na infraestrutura de coleta de lixo
- Projetos de despoluição e filtragem da água
- Reflorestamento nas margens do rio
- Outros

05. Na sua opinião, qual é a principal causa do acúmulo de lixo no Rio Capibaribe?

- a) Falta de coleta de lixo regular
- b) Descarte inadequado de resíduos
- c) Falta de conscientização da população
- d) Outros

APÊNDICE B - PANFLETO (FRENTE E VERSO)

PODE BEBER A ÁGUA DO RIO?

NÃO! A ÁGUA ESTÁ CONTAMINADA COM ESGOTO, LIXO E PRODUTOS QUÍMICOS. BEBER PODE CAUSAR DOENÇAS GRAVES, COMO DIARREIA E HEPATITE (CPRH, 2023; ANA, 2021; MMA, 2022; SES PE, 2023)

SE NÃO FOSSE POLUÍDO, DAVA PARA TOMAR ÁGUA DELE?

ANTIGAMENTE, SIM! O CAPIBARIBE JÁ FOI LIMPO E ATÉ USADO PARA ABASTECER CIDADES. HOJE, SÓ COM TRATAMENTO PESADO (FILTROS, PRODUTOS QUÍMICOS) A ÁGUA FICARIA SEGURA (CPRH, 2023; ANA, 2021; MMA, 2022; SES PE, 2023)

TEM PEIXES?

POUCOS, E ALGUNS PODEM ESTAR CONTAMINADOS. A POLLUIÇÃO REDUZ O OXIGÉNIO DA ÁGUA E ENVENENA OS PEIXES. ALGUNS SOBREVIVEM, MAS NÃO SÃO BONS PARA COMER (SILVA, 2023).

PODEMOS REESCREVER ESSA HISTÓRIA!

O CAPIBARIBE NASCE PURO, NAS SERRAS DE POÇAO – PÉ, MAS ESSE PRESENTE DA NATUREZA VEM SUFOCANDO PELA AÇÃO HUMANA.

- ÁPOIE PROJETOS DE REFLORESTAMENTO NAS CABECEIRAS
- DENUNCIE DESMATAMENTOS OU MINERAÇÃO IRREGULAR
- NUNCA JOGUE ÓLEO DE COZINHA NA PIA (1 LITRO CONTAMINA 25 MIL LITROS DE ÁGUA)
- PARTICIPE DE MUTIRÕES DE LIMPEZA NAS MARGENS
- PREFERA PRODUTOS BIODEGRADÁVEIS
- REDUZA O USO DE PLÁSTICOS DESCARTÁVEIS

EXIJA DAS AUTORIDADES:

- AMPLIAÇÃO DO SANEAMENTO BÁSICO
- FISCALIZAÇÃO DE INDÚSTRIAS POLUIDORAS

(CPRH, 2019, 2023; ANA, 2021; MMA, 2022; SOS MATA ATLÂNTICA, 2023)



POLUIÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO CAPIBARIBE

REFERÊNCIAS

BRAZIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução N° 075, de 29 de Abril de 2001.

BRAZIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. SÉRIES DE VEOLIGAÇÃO HÍDrica EM BACAS DESPROVADAS. Brasília, 2022.

BRAZIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). BAGAGULHAÇÃO DE MITAS PEIXADOS EM PERÍODO DE DROSA. Brasília, 2022.

BRAZIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). BAGAGULHAÇÃO DE MITAS PEIXADOS EM PERÍODO DE FLOA. Brasília, 2022.

B. QUAÇU AMBIENTAL E AGENCIAS. AQUAQUAÇU: CONSERVACAO DO AMBIENTE DE PERNAMBUCO (CQPA). DIRETRIZES PARA GESTAO SUSTENTAVEL DE CORPOS HÍDRICOS. Recife, 2023.

GLOSARIO TÉCNICO- AMBIENTAL. TERMOLOGIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Recife, 2023.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). RELATÓRIO DE SITUAÇÃO 2020-2023. Recife, 2023.

DEPOIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA BACIA DO CAPIBARIBE. Recife, 2023.

RELATÓRIO DE QUALIDADE DA ÁGUA NAS NARCENTES MICROQUADAS DE POÇÃO. Recife, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). AVAÇALIAÇÃO DE IMPACTOS ANTRÓPICOS EM BACAS HIDROGRÁFICAS DO NORDESTE. Brasília, 2022.

DIAMETRICO DE CONTAMINANTES E IMPERFECTOS EM BACAS URBANAS. Brasília, 2022.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). DIRETRIZ DE CONTAMINANTES E IMPERFECTOS SUPERFICIAIS. Brasília, 2021.

C. TRABALHOS ACADÉMICOS E PESQUISAS. SISTEMA DE MONITORAMENTO DA BACIA DO CAPIBARIBE. Recife, 2023.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECOLOGIA. BRASILEIRO DE ECOLOGIA. 2022. Recife: ANA, 2023.

SILVA, R. P. A IMPORTÂNCIA DA EXPERIMENTAÇÃO NO ENSINO DE QUÍMICA: APROVANDO A TÉMATICA POLUIÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO CAPIBARIBE NO ENSINO FUNDAMENTAL II. 2023.

ELABORADO POR:
CLEITON LUIZ DA SILVA SOUZA

PERGUNTA

E A SAÚDE DO RIO?

O RIO CAPIBARIBE, CURSO D'ÁGUA DE 240 KM QUE BANHA PERNAMBUCO, É PARTE INDISOSSÍVEL DA HISTÓRIA REGIONAL. DESDE O PERÍODO COLONIAL, SERVIU COMO:

- VIA DE TRANSPORTE PARA ENGENHOS DE AÇÚCAR (SÉCULOS XVI-XVII);
- FONTE DE ABASTECIMENTO PARA POPULAÇÕES RIBEIRINHAS;
- INSPIRAÇÃO ARTÍSTICA, CELEBRADO POR ESCRITORES COMO MANUEL BANDEIRA EM "EVOCAÇÃO DO RECIFE"

A ACERELADA URBANIZAÇÃO E INDUSTRIALIZAÇÃO PROVOCARAM:

- ASSOREAMENTO POR DESMATA- MENTO DE MATAS CILIARES (CPRH, 2019);
- CONTAMINAÇÃO POR ESGOTO NÃO TRATADO (78% DA POLLUIÇÃO NA RMRECIFE – CPRH, 2022);
- PERDA DE BIODIVERSIDADE, COM REDUÇÃO DE 70% DAS ESPÉCIES NATIVAS (CPRH, 2020).

COMO O RIO FICA CHEIO DE COISAS FLUTUANDO?

O LIXO (GARRAFAS, SACOLAS, ESPUMA) NÃO SÓMEOZINHO. QUANDO CHOVE, A SUTERRA DAS RUAZINHAS VAI PARAR NO RIO, E O VENTO ESPALHA TUDO, DEIXANDO A ÁGUA SUSA E CHEIA DE OBJETOS FLUTUANTES. (CPRH, 2023; ANA, 2022)

ESSES MATERIAIS (FLUTUANDO) SÃO POLUIÇÃO?

Sim! Tudo que não é natural (plástico, borracha, espuma) é poluição. Até materiais naturais, como galhos em excesso, podem prejudicar o rio. (CONAMA, 2001; CPRH, 2022, 2023; ANA, 2021)

POR QUE ALGUNS MATERIAIS BOIAM E OUTROS AFUNDAM?

DEPENDE DO PESO! PLÁSTICO E MADEIRA SÃO LEVES E FICAM NA SUPERFÍCIE. PEDRAS E LATINHAS AFUNDAM PORQUE SÃO MAIS PESADAS QUE A ÁGUA (CPRH, 2023)

ESSES MATERIAIS VÃO SUMIR COM O TEMPO?

ALGUNS SIM, MAS MUITO LENTAMENTE. UMA GARRAFA PLÁSTICA, POR EXEMPLO, PODE LEVAR 450 ANOS PARA DESAPARECER!

QUANTO TEMPO OS MATERIAIS FICAM NO RIO ATÉ SE ACABAR?

PAPEL: 3 A 6 MESES
CASCAS DE FRUTA: 1 ANO
LATINHA DE METAL: 200 ANOS
GARRAFA PLÁSTICA: 450 ANOS!
OU SEJA, QUASE TUDO QUE JOGAMOS NO RIO FICA LÁ POR MUITO TEMPO. (CPRH, 2023; ANA, 2021; MMA, 2022)

APÊNDICE C - PRODUTO EDUCACIONAL



POLUIÇÃO DO RIO CAPIBARIBE

**EM UMA ABORDAGEM BASEADA
NA EXPERIMENTAÇÃO**



**PRODUTO
EDUCACIONAL**

Cleiton Luiz da Silva Souza



UFRPE



PROFQUI
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM QUÍMICA
EM REDE NACIONAL

Ebook produzido a partir das ações realizadas na Dissertação do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional – PROFQUI com o título: *A importância da experimentação no ensino de Química: abordando a temática poluição das águas do rio Capibaribe no ensino fundamental II*, sob a orientação da professora Dr.^a. Flávia Christiane Guinhos de Menezes Barreto Silva.

APRESENTAÇÃO

Prezado(a) Professor(a),

É com entusiasmo que compartilhamos este trabalho baseado na Experimentação, elaborada no âmbito do Mestrado Profissional em Química em Rede Nacional (PROFQUI), com o propósito de apoiar docentes no ensino de Química, tenso como temática a poluição hídrica.

A temática foi selecionada por sua urgência global e por permitir uma abordagem onde os saberes dialogam, conectando conceitos químicos a problemas reais, como a contaminação de rios. A proposta visa não apenas transmitir conhecimentos científicos, mas também desenvolver consciência crítica nos estudantes sobre os impactos da ação humana nos ecossistemas aquáticos.

A metodologia empregada, alia a perspectiva do aprendizado baseado na experimentação, incentivando os alunos a investigarem, através de experimentos.

As atividades propostas incluem trabalhar com os assuntos que perpassam o conhecimento químico nas disciplinas de geografia, biologia e também na educação ambiental.

Esta proposta baseada em experimentos foi elaborada para contextualizar o ensino, mostrando como a Química está presente nos desafios no cotidiano. Ao final, espera-se que os estudantes dominem os conceitos químicos científicos, e também sintam-se motivados a agir como cidadãos responsáveis pelo meio ambiente e capazes de tomar decisões. Acreditamos que este recurso possa ser utilizado nas escolas para enriquecer as aulas, transformando o aprendizado uma experiência dinâmica e motivadora. Convidamos você a adaptar as atividades conforme a realidade de sua escola, incentivando os estudantes a uma participação ativa.



A EXPERIMENTAÇÃO COMO FERRAMENTA PEDAGÓGICA NO ENSINO

A experimentação como ferramenta no ensino da ciência é uma abordagem pedagógica que enfatiza o papel ativo do aluno no processo de aprendizado, através da investigação e da prática. Nesse contexto, o conhecimento não é simplesmente transmitido pelo professor, mas construído pelo aluno à medida que ele explora, manipula materiais, testa hipóteses e analisa resultados.

A experimentação deve ser um processo cíclico e parte essencial da prática pedagógica, convertendo a sala de aula em um cenário onde a exploração e a descoberta são favorecidas a qualquer momento.

Experimentar é um método essencial na educação em ciências. Permite que os estudantes tenham um exemplo prático e/ou investigativo da teoria para compreender e expandir seu conhecimento sobre os fenômenos com os quais os estudantes estão trabalhando e permite que se desenvolvam hipóteses, que podem ser testadas. No âmbito da educação em ciências e matemática, as práticas experimentais são fundamentais para o que Frazão, Gusmão & Antunes (2021) definem como aprendizado "aprofundado". Essas práticas baseiam-se no treinamento do estudante para o desenvolvimento da reflexão crítica e da autonomia. Ao longo deste processo, os estudantes começam a questionar, investigar e explicar fenômenos naturais, o que leva à construção de um cidadão mais crítico e consciente.

O trabalho de Silva et al. (2018) sobre a integração de conhecimento de diferentes áreas da educação em ciências, conectada à prática da experimentação revela como, ao optar por esses procedimentos, somos capazes de conectar diferentes áreas do conhecimento entre si, baseando-se nas experiências dos estudantes. Esta convergência do conhecimento, quando combinada com a experimentação, é propícia para estabelecer conexões entre conteúdos, e assim, o aprendizado torna-se mais significativo.

Envolver os alunos em experimentos no ensino de ciências e matemática parece necessário para converter a verdadeira natureza dessas disciplinas em algo novo e desafiador.

Moraes (2018) menciona a ausência de recursos materiais e infraestrutura nas escolas - não ter laboratórios suficientes e as escolas não estarem equipadas com materiais, como um dos principais obstáculos às aulas com experimentação. Outra causa que gera desinteresse dos professores em experimentar pode ser explicado por Santos (2020), que elucida a intensionalidade com método experimental e enfatiza que relações significativas não são apenas entre os próprios estudantes, mas também "neste processo" entre os professores, e implicam que brincar com material significa "brincar" com algo muito concreto. Isso também leva a educadores não se sentirem confortáveis ou inexperientes em experimentar atividades para evitar o medo de errar, resultando em métodos de ensino mais tradicionais que mostram menos do que os alunos podem explorar e investigar.

Nascimento (2023) explorou os conhecimentos dos professores do ensino fundamental em relação a atividades de campo e compeliram a necessidade de aulas experimentais bem sucedidas.

Este material pretende ensinar ativamente um pouco da natureza experimental, fornecendo aos estudantes um conjunto de habilidades para apoiá-los na construção de seu próprio conhecimento e entender o padrão real escondido dentro de qualquer novo fenômeno.

Espera-se que essa abordagem prática e contextualizada, baseada nos princípios da aprendizagem ativa, pela experimentação, se mostre: eficaz para motivar os estudantes - onde os encontros devem proporcionar, ao grupo, entusiasmo para as pesquisas nos próximos encontros; realizar a pesquisa, coletar dados e analisar informações, buscar soluções para os problemas identificados e refletir sobre a importância da gestão adequada dos resíduos sólidos e a necessidade de adotar hábitos mais sustentáveis no dia a dia, além de demonstrar que a problemática local desperta o interesse e senso de responsabilidade ambiental.



PRIMEIRO ENCONTRO

SONDAGEM DIAGNÓSTICA E APRESENTAÇÃO DO TEMA

No primeiro encontro, o objetivo é de engajar os estudantes e conhecer seus conhecimentos sobre a poluição hídrica. Para isso, pode ser utilizado um questionário e a apresentação de reportagens e vídeos, tendo como sugestão:

- Para despertar o interesse dos alunos: Inicie a conversa com perguntas abertas sobre a importância da água e do rio nas suas vidas. Isso cria uma conexão pessoal e motiva a participação.
- Apresentar o tema: Explique que a aprendizagem se baseia em experimentação sobre a saúde do rio. O objetivo é que os alunos atuem como pesquisadores, buscando identificar os autores da poluição do rio.
- Aplicar um questionário de sondagem: Distribua um questionário com perguntas para avaliar o que eles já sabem sobre as causas e consequências da poluição do rio.
- Dividir os estudantes em grupos: Organize a turma em grupos para promover a colaboração. A divisão por sorteio pode garantir que as equipes sejam imparciais.
- Visita ao rio: Leve os alunos para uma visita às margens do rio. Esta é uma experiência prática que quebra a rotina escolar e os coloca em contato direto com a realidade. A observação visual da poluição no local pode fortalecer o engajamento e a curiosidade.

As etapas estão organizadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapa do desenvolvimento da Sondagem Diagnóstica e Apresentação do Tema.

Etapas do desenvolvimento	Objetivo	Instrumentos	Tempo Didático
1- Sondagem diagnóstica e apresentação do tema	Conhecimento prévio dos estudantes sobre a temática da poluição do rio próximo à escola visando despertar o interesse dos estudantes.	Questionário Apresentação de reportagens e vídeo	1º Momento Pelo Menos 30 minutos
2 - Divisão dos estudantes em grupos para elaboração dos Experimentos	Promover a construção de equipes de trabalho para o desenvolvimento dos experimentos	Papel e caneta	2º Momento Pelo Menos 10 minutos
3- Visita ao rio Capibaribe próximo à escola	Realizar uma imersão na problemática real	Papel, caneta, celular, smartphone, roteiro de visita	3º Momento Pelo Menos 50 minutos
4- Momentos para reflexão e discussão	Refletir criticamente sobre a problemática relacionada	Papel e caneta	4º Momento Pelo Menos 10 minutos

Fonte: O autor



SEGUNDO ENCONTRO

ORIENTAÇÕES ESTRUTURADAS COM METAS ESPECÍFICAS REALIZAÇÃO DE PESQUISA TEÓRICA PARA SELEÇÃO DOS EXPERIMENTOS APROFUNDAMENTO DA TEMÁTICA E CONTEÚDO

Esta etapa é crucial para transformar a curiosidade dos alunos em um plano de pesquisa estruturado. A seguir, orientações para conduzir as atividades e aprofundar o conhecimento de forma coesa.

1. Realizar Pesquisa Teórica e Seleção dos Experimentos

É fundamental que os alunos busquem informações para selecionar os experimentos. Oriente-os a usar os recursos da escola, como livros e internet, para pesquisar sobre a poluição do rio e as possíveis análises químicas. O professor deve mediar essa busca, ajudando a conectar as perguntas dos alunos com conceitos científicos e experimentos aplicáveis.

• **Conteúdos Químicos a serem explorados:** A partir das pesquisas, desenvolva os temas de matéria e substâncias, misturas e métodos de separação (filtração e destilação), solubilidade, pH e turbidez.

2. Aprofundar a Temática e o Conteúdo

Antes de ir para a prática, reforce a teoria. Abra espaço para perguntas, dúvidas e em seguida, explique a importância de cada conceito para melhor aprendizagem do tema, garantindo que os estudantes compreendam o que irão analisar e por quê.

• **Temas para Aprofundamento:** Discuta a definição de poluição, os tipos de lixo sólido, o tempo de decomposição dos materiais e a importância dos testes de coliformes fecais para a saúde pública.

• **Experimentos:** Prepare e apresente os experimentos escolhidos que serão realizados, como o de separação de misturas (filtração e destilação), o teste de pH e o teste de coliformes totais.

Essa abordagem garante que a experimentação seja mais do que um "ritual escolar", tornando-se uma ferramenta significativa para a construção do conhecimento e a compreensão da realidade local.



TERCEIRO ENCONTRO

REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Sugestões de Experimentos para Análise da Água do Rio

Professor(a), a seguir apresentamos orientações para a realização de experimentos práticos que permitem aos alunos investigarem a qualidade da água. O objetivo é conectar conceitos de química e biologia a uma problemática real, utilizando materiais acessíveis, utilizando como referências os parâmetros legais.

Teste de Coliformes Totais e Fecais (Termotolerantes)

Objetivo: Analisar a qualidade microbiológica da água, identificando a presença de bactérias do grupo coliforme, que servem como indicadores de contaminação por esgoto doméstico e dejetos animais.

Materiais:

- Amostra de água do rio coletada em garrafa PET.
- Para este procedimento pode-se usar um kit de teste para coliformes fecais e totais, contendo cubetas e reagente indicador em pastilha.
- Área segura para incubação da amostra por 48 horas.

Metodologia:

- Preparar a amostra: Coletar 10 mL da água do rio em uma cubeta do kit de teste.
- Adicionar o reagente: Inserir o comprimido indicador na cubeta e tampar. Não agitar a amostra.
- Incubar: Deixar a amostra em temperatura ambiente (21 a 27 °C) por 48 horas, fora do alcance da luz solar.
- Analizar o resultado: Comparar a cor da amostra após a incubação com as informações padronizadas do reagente.

Possíveis Resultados e Parâmetros Legais

Um resultado positivo é indicado pela mudança de coloração para um tom amarelo ou marrom-claro, acompanhado de bolhas de gás. Isso confirma a presença de coliformes fecais, como a *Escherichia coli*, e evidencia a contaminação por esgoto doméstico, como mostra a figura 1.

Figura 1 – Kit Presuntivo Coliformes Totais e Fecais



Fonte: O autor

Este teste se alinha à Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021, que estabelece os padrões de potabilidade da água no Brasil.

Figura 2 – Kit Medição pH



Fonte: <https://lista.mercadolivre.com.br/quality>

Medição de pH

Objetivo: Determinar o potencial hidrogeniônico (pH) da água, que é uma medida de sua acidez ou alcalinidade. O pH é um parâmetro fundamental para a vida aquática e pode indicar a presença de poluentes, como exemplo a figura 2.

Materiais:

- Amostra de água do rio.
- Kit de teste de pH, contendo uma cubeta graduada, reagente e uma escala colorimétrica de comparação.
- Conta-gotas (geralmente fornecido no kit).

Metodologia:

1. Preparar a amostra: Coletar uma aliquote da água do rio e transferir para a cubeta do kit.
2. Adicionar o reagente: Gotejar a quantidade indicada do reagente (geralmente 4 gotas de vermelho de fenol) na cubeta.
3. Analisar o resultado: Agitar suavemente e comparar a cor da solução com a escala colorimétrica do kit para determinar o pH.

Possíveis Resultados e Parâmetros Legais:

- Os cursos d'água geralmente variam entre pH 6 e 8. Desvios significativos desta faixa podem afetar a vida aquática e indicar poluição.

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece os limites de pH aceitáveis para diferentes classes de corpos d'água, sendo um parâmetro legal crucial para a gestão e proteção ambiental.



QUARTO ENCONTRO

REALIZAÇÃO DOS EXPERIMENTOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao propor os experimentos de filtração e destilação artesanais, é fundamental ressaltar aos alunos que nem todos os materiais precisam ser comprados. Essa abordagem sustentável e econômica fortalece o conceito de reaproveitamento e dá mais sentido prático à proposta.

A visita às margens do rio, deve fazer parte do plano de aulas, este momento pode ser aproveitado para a coleta de alguns dos materiais necessários, como:

- Garrafas PET: Ideais para a construção do filtro e do destilador artesanal.
- Lamparinas: Em alguns casos, itens descartados metálicos podem ser adaptados como lamparinas para fonte de calor.

A coleta desses materiais torna a experiência ainda mais completa, conectando a teoria à prática. Deve ser tomado os devidos cuidados e segurança na coleta destes materiais fazendo o uso de luvas de proteção.

O experimento de filtração simples, conforme figura 3, permite construir um filtro artesanal para remover impurezas visíveis para reduzir a turbidez da água.

Figura 3 - Filtração Simples



Fonte: <https://ecofossa.com/aprenda-fazer-um-filtro-caseiro-com-garrafa-pet/>

Materiais Necessários:

- Uma garrafa PET transparente cortada ao meio.
- Camadas de algodão, carvão, areia fina e brita.
- Água do rio com impurezas visíveis.

Metodologia:

1. Montar o filtro: Pegar a parte superior da garrafa PET (com a boca e o gargalo) e invertê-la, encaixando-a na parte inferior (a base).
2. Dispor as camadas: Na ordem, colocar o algodão no fundo do gargalo, seguido pelas camadas de brita, areia grossa e areia fina. (algodão, areia grossa, areia fina, carvão ativado e brita);
3. Filtrar a água: Despejar lentamente a água com impurezas na parte superior do filtro.
4. Observar: Analisar a água que sai da parte inferior do filtro para comparar sua clareza com a amostra original.

Possíveis Resultados e Discussões:

- Resultados: A água filtrada deve apresentar uma redução significativa da turbidez e das impurezas visíveis.
- Discussão: A atividade permite discutir conceitos como processos físicos de separação de misturas, a importância de cada camada filtrante e pode-se discutir a possibilidade de realizar o método de filtração de maneira artesanal e associar com o processo real, do cotidiano, que acontece em escala maior, numa estação de tratamento de água (ETA). Este é um excelente momento para reforçar que, embora o filtro artesanal torne a água mais limpa visualmente, ela ainda não é potável e necessita de um outros tratamentos químicos como nas ETAS.

Figura 4 - DESTILAÇÃO SIMPLES ARTESANAL



Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=ZPeTZvVhWRs>

O experimento de destilação simples de maneira artesanal demonstra, conforme figura 4 o método de separação de substâncias dissolvidas, como sais minerais dissolvidos e material orgânico em suspensão a partir dos processos de vaporização e condensação da água ocorridos no equipamento de destilação.

Materiais Necessários:

- Garrafas PET adaptadas para balão de aquecimento e recipiente de coleta.
- Lamparina para servir como fonte de calor.
- Mangueira de soro para funcionar como condensador.
- Estrutura de suporte feita de madeira, pregos e arames.
- Amostra de água com impurezas dissolvidas (como a do rio).

Metodologia:

1. Construir a estrutura: Usar madeira e pregos para criar uma base sólida de suporte para o equipamento.
2. Preparar o recipiente de aquecimento: Adaptar uma garrafa PET para servir como o balão de aquecimento do sistema.
3. Montar o condensador: Posicionar a mangueira de soro para conectar o balão de aquecimento ao recipiente de coleta.
4. Fixar as peças: Usar arames para fixar o balão e a mangueira à estrutura de madeira, garantindo que as conexões sejam seguras.
5. Aquecer a amostra: Colocar a amostra de água do rio no recipiente de aquecimento e acender a lamparina.
6. Observar o processo: O vapor de água subirá, passará pelo condensador e voltará ao estado líquido, sendo coletado em um novo recipiente.

Possíveis Resultados e Discussões:

- . Resultados: O resultado final é a obtenção de uma água incolor. Isso comprova visualmente a eficácia da destilação em separar a água dos solutos não voláteis que causavam a coloração, contaminação e a turbidez.
- . Discussão: Este experimento permite aprofundar os conceitos de ebulição, condensação e método de separação (purificação) das substâncias. É essencial reforçar que a destilação separa a água de impurezas dissolvidas, mas a água obtida não é necessariamente potável sem outras etapas de tratamento.



QUINTO ENCONTRO

COLETA SELETIVA DOS RESÍDUOS PANFLETO EDUCATIVO

Para encerrar as atividades experimentais, a ação de coleta seletiva de resíduos nas margens do rio, nas proximidades da escola e das residências dos alunos tem o objetivo de demonstrar, de forma prática, como os conhecimentos científicos podem ser aplicados para resolver problemas reais da comunidade.

Ações para a culminância sugeridas:

- Realizar uma coleta seletiva de resíduos: Organizar os alunos para coletar resíduos nas imediações da escola e de suas residências.
- Analisar a coleta: Observar e discutir a alarmante quantidade de resíduos gerados diariamente, a falta de infraestrutura para o descarte adequado

O engajamento dos estudantes em todo o processo de aprendizagem pela experimentação sobre a poluição do rio pode ser materializado com a implementação de coletores de recicláveis no ambiente escolar. A doação de cestos específicos para a coleta reforça o compromisso com a continuidade dessa prática vital.

Na etapa de Coleta Seletiva, a discussão científica deve focar na natureza da matéria, nos tipos de materiais químicos presentes no lixo coletado e no tempo estimado de decomposição desses materiais na natureza. É fundamental ressaltar que esses valores podem variar significativamente em função de fatores ambientais como umidade, temperatura e a presença de microrganismos, conforme apontam estudos na área de gestão de resíduos sólidos (Freitas; Oliveira, 2023).

Com estes coletores, conforme a figura 5, a escola se transforma em um "laboratório vivo", onde a teoria sobre a gestão de resíduos encontra a prática diária. Essa estrutura dá aos alunos um papel ativo na redução do impacto ambiental, tornando-os multiplicadores de boas práticas e contribuindo para a construção de uma comunidade mais consciente e sustentável.

Figura 5 – Coletores para Coleta Seletiva de Resíduos



Fonte: O autor

Outras Temas Relevantes que podem ser discutidos com os estudantes são: Impactos da contaminação da água na saúde da população, poluição hídrica e medidas para diminuição da poluição hídrica nas cidades

- Demonstrar a aplicação do conhecimento: mostrar como a conscientização e a ação cidadã, baseadas no conhecimento adquirido, podem impactar positivamente a partir da produção de um panfleto educativo que é a etapa de divulgação e compartilhamento do conhecimento adquirido, ampliando o impacto do trabalho deles para além da sala de aula- na comunidade local, por exemplo, figura 6.

Figura 6. Panfleto Educativo



Fonte: O autor



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a aplicação dessa proposta espera-se atingir:

1. Impacto no Processo de Ensino-Aprendizagem utilizando a Experimentação: a metodologia visa aprimorar a forma como o conteúdo é transmitido e absorvido.
2. Aprendizagem Ativa e Conexão entre Teoria e Prática: A experimentação permite que os alunos deixem de ser passivos e se tornem protagonistas, aplicando conceitos abstratos em situações reais.
3. Engajamento através de Tema Relevante: A escolha de um assunto local e pertinente, como a poluição do rio, é o que impulsiona a curiosidade e o envolvimento dos estudantes.
4. Pensamento Crítico: Ao investigar e discutir o tema, os estudantes desenvolvem a capacidade de analisar, questionar e propor soluções, indo além da simples memorização.
5. Interdisciplinaridade: O projeto naturalmente integra a Química com a Biologia e as questões ambientais mostrando que o conhecimento não é fragmentado.
6. Educação Ambiental: O resultado do processo é a conscientização e a formação de cidadãos mais responsáveis e engajados com o meio ambiente.
7. Divulgação Científica: A culminância do projeto, com a produção de um panfleto, é a etapa final de compartilhamento do conhecimento adquirido, ampliando o impacto para além da sala de aula.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DA SILVA, Daniela Moreira; SOUZA, Edna Duarte. **A importância da transdisciplinaridade na formação de professores de química licenciatura.** In: Anais do Congresso de Ensino, Pesquisa e Extensão da UEG (CEPE)(ISSN 2447-8687). 2018.
- DA SILVA FRAZÃO, Lucenir; DOS SANTOS GUSMÃO, Marta Silva; ANTUNES, Ettore Paredes. **Atividades experimentais investigativas e a habilidade de elaborar hipóteses na formação inicial de professores.** Research, Society and Development, v. 10, n. 4, p. e54210414285-e54210414285, 2021.
- DE MORAIS SILVA, Eliana Aparecida; LEÃO, Marcelo Franco. **Desafios e contribuições da experimentação na formação inicial de professores de química.** Revista Areté| Revista Amazônica de Ensino de Ciências, v. 11, n. 24, p. 153-159, 2018.
- DOS SANTOS, Lucelia Rodrigues; DE MENEZES, Jorge Almeida. **A experimentação no ensino de Química: principais abordagens, problemas e desafios.** Revista Eletrônica Pesquiseduca, v. 12, n. 26, p. 180-207, 2020.
- NASCIMENTO, Fellipe Albano Melo do. **Atividades práticas experimentais e a motivação em aprender: implicações para o ensino de ciências nos anos iniciais do ensino fundamental.** 2023.