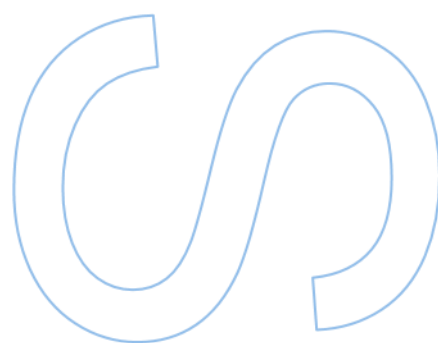
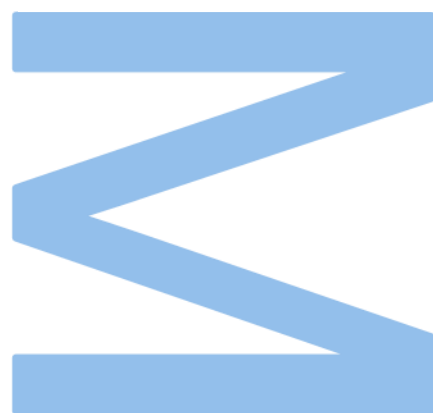


# Ciência em ação: a abordagem CTSA no estudo das reações ácido-base no 11.º ano

Gonçalo Matos Gorito

Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3ºCiclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário  
Unidade de Ensino das Ciências  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto  
2025



# **Ciência em ação: a abordagem CTSA no estudo das reações ácido-base no 11.º ano**

**Gonçalo Matos Gorito**

Relatório de Estágio realizado no âmbito do Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3ºCiclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário  
Unidade de Ensino das Ciências  
2024/2025

**Orientador**

Carla Susana Lopes Morais, Professor Auxiliar com Agregação,  
Faculdade de Ciências da Universidade do Porto



## Agradecimentos

À Professora Teresa Simões, agradeço profundamente a confiança depositada no meu trabalho e a liberdade que me foi concedida para implementar uma metodologia exigente, que implicou reajustes frequentes no planeamento das aulas, nas avaliações e na organização logística das atividades. A sua disponibilidade constante, abertura e entusiasmo foram fundamentais para o sucesso desta intervenção.

À Professora Carla Morais, expresso um sincero reconhecimento pelo acompanhamento rigoroso, profissional e incansável ao longo de todo o processo. As suas sugestões meticolosas, sempre construtivas, contribuíram decisivamente para a qualidade do trabalho desenvolvido, tanto do ponto de vista científico como pedagógico.

Um agradecimento muito especial à Ana, pela presença constante na vida pessoal e profissional. A sua paciência, calma, apoio incondicional e ajuda em tudo foram essenciais para que eu conseguisse chegar até aqui com equilíbrio e determinação.

Aos meus pais, o mais profundo obrigado. Sempre me proporcionaram tudo o que precisei, e mesmo quando decidi mudar de rumo profissional, senti o vosso orgulho intacto, ou até reforçado. Esta vivência só foi possível porque sempre me apoiaram a seguir o caminho em que acredito, e por isso este trabalho é também vosso.

## Resumo

Partindo da premissa de que a contextualização científica através de problemas socioambientais favorece aprendizagens mais significativas, delineou-se uma intervenção pedagógica centrada em temáticas como a acidificação dos oceanos, chuvas ácidas e a drenagem ácida de minas. Desta forma, o presente estudo investiga o impacto da abordagem CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente) no ensino das reações ácido-base, procurando compreender o seu efeito nas aprendizagens, atitudes e envolvimento dos alunos.

A investigação decorreu numa turma do 11.º ano do ensino secundário ( $n=17$ ), adotando uma metodologia de natureza mista, com recolha de dados quantitativos (pré e pós-teste de consciencialização ambiental) e qualitativos (entrevistas). A intervenção incluiu atividades laboratoriais, análise de dados reais e um *role-play* na forma de debate interdisciplinar, objetivando promover o pensamento crítico, a cidadania ativa e a aplicação do conhecimento químico a problemas reais.

Os resultados quantitativos evidenciaram progressos significativos nas aprendizagens conceptuais e atitudinais, com base no ganho normalizado de *Hake*, cinco das onze questões conceptuais apresentaram ganhos elevados ( $g \geq 0,70$ ) e seis questões evidenciaram ganhos intermédios ( $0,30 \leq g < 0,70$ ), onde apenas a Q8 registou um ganho mais reduzido ( $g = 0,31$ ). A análise qualitativa revelou perceções amplamente positivas quanto à abordagem CTSA, destacando-se o aumento do envolvimento, da motivação e da consciencialização ambiental dos alunos.

A integração da abordagem CTSA no ensino das reações ácido-base afigura-se como positiva no que respeita ao seu contributo para o desenvolvimento de competências científicas e cívicas, promovendo uma aprendizagem mais contextualizada, crítica e relevante para os desafios do mundo contemporâneo.

**Palavras-chave:** Educação em Química; Reações ácido-base; Neutralização; Abordagem CTSA; Consciencialização ambiental; Aprendizagem significativa.

## Abstract

Based on the premise that scientific contextualization through socio-environmental issues fosters more meaningful learning, a pedagogical intervention was designed around themes such as ocean acidification, acid rain, and acid mine drainage. This study examines the impact of the STSE (Science-Technology-Society-Environment) approach on the teaching of acid-base reactions, with the goal of understanding its effect on students' learning, attitudes, and engagement.

The research was conducted in an 11th-grade science class ( $n = 17$ ) using a mixed-methods approach, combining quantitative data (pre- and post-tests on environmental awareness) with qualitative data (interviews). The intervention included laboratory activities, analysis of real-world data, and an interdisciplinary role-play debate, aiming to promote critical thinking, active citizenship, and the application of chemical knowledge to real problems.

Quantitative results showed significant progress in both conceptual and attitudinal learning. According to Hake's normalized gain, seven out of eleven conceptual questions showed high gains ( $g \geq 0.70$ ), three showed intermediate gains ( $0.30 \leq g < 0.70$ ), and only one showed a low gain ( $g = 0.31$ ). Qualitative analysis revealed broadly positive perceptions of the STSE approach, particularly regarding increased student engagement, motivation, and environmental awareness.

The integration of the STSE approach into the teaching of acid-base reactions proves beneficial in developing scientific and civic competencies, fostering more contextualized, critical, and relevant learning for the challenges of the contemporary world.

**Keywords:** Chemical Education; Acid–Base Reactions; Neutralization; STSE Approach; Environmental Awareness; Meaningful Learning.

# Índice

|                                                                                                         |      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Lista de tabelas.....                                                                                   | vii  |
| Lista de figuras .....                                                                                  | viii |
| Lista de equações.....                                                                                  | viii |
| Lista de abreviaturas.....                                                                              | ix   |
| Introdução.....                                                                                         | 1    |
| 1. Dossier de estágio: apresentação sintética .....                                                     | 2    |
| 2. Enquadramento teórico.....                                                                           | 3    |
| 2.1 Enquadramento científico.....                                                                       | 3    |
| 2.1.1. Definição de ácido e base.....                                                                   | 3    |
| 2.1.2. Equilíbrio ácido-base .....                                                                      | 3    |
| 2.1.3. Fenómenos ambientais relacionados com ácido-base .....                                           | 5    |
| 2.2 Enquadramento de investigação educacional .....                                                     | 6    |
| 2.2.1. Abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) .....                                 | 6    |
| 2.2.2. Contextualização CTSA no ensino de ácido-base.....                                               | 7    |
| 3. Enquadramento didático-curricular .....                                                              | 10   |
| 4. Prática em terreno escolar e ensaio de investigação .....                                            | 11   |
| 4.1. Objetivos do estudo.....                                                                           | 11   |
| 4.2. Caracterização do estudo e metodologia usada .....                                                 | 11   |
| 4.3. Descrição dos participantes.....                                                                   | 12   |
| 4.4. Descrição das estratégias de intervenção adotadas na investigação e do material desenvolvido ..... | 12   |
| 4.5. Técnicas e instrumentos de recolha de dados.....                                                   | 13   |
| 4.5.1. Pré e pós-teste de consciencialização e compreensão conceptual .....                             | 13   |
| 4.5.2. Entrevista final .....                                                                           | 14   |
| 4.6. Considerações sobre a recolha e o tratamento dos dados .....                                       | 14   |
| 5. Apresentação e discussão dos resultados .....                                                        | 16   |

|                                                                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 5.1 Análise quantitativa – Resultados do teste de consciencialização ambiental (pré e pós-teste) .....                    | 16 |
| 5.2 Resultados da análise qualitativa das entrevistas.....                                                                | 20 |
| 5.2.1. Categoria A — Compreensão do fenómeno científico (P1 e P2).....                                                    | 20 |
| 5.2.2. Categoria B — Consciencialização ambiental e cidadania (P3 e P4).....                                              | 21 |
| 5.2.3. Categoria C — Relação com a abordagem CTSA: ciência contextualizada e interdisciplinaridade (P5, P6, P7 e P8)..... | 22 |
| 5.2.4. Categoria D — Experiência pedagógica e motivação (P9, P10 e P11) .....                                             | 23 |
| 5.2.5. Categoria E – Impacte pessoal e futuro (P12 e P13) .....                                                           | 25 |
| 5.3. Análise comparativa com a literatura educacional .....                                                               | 26 |
| 6. Conclusões e considerações finais .....                                                                                | 28 |
| 6.1. Conclusões e considerações finais.....                                                                               | 28 |
| 6.2. Significância da investigação e suas implicações para a Educação em Química e em Ciências .....                      | 29 |
| 7. Reflexão autocrítica e projetos futuros .....                                                                          | 30 |
| 8. Referências Bibliográficas.....                                                                                        | 31 |
| Anexos .....                                                                                                              | 34 |

## Lista de tabelas

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Categorias de análise das entrevistas realizadas aos alunos e respetiva descrição. ....                                                                                                              | 15 |
| Tabela 2 - Tipologia das questões do pré e pós-teste de consciencialização ambiental, objetivos de avaliação e tipo de resposta.....                                                                            | 16 |
| Tabela 3 - Critérios de classificação do Nível Global de Preocupação Ambiental, com base na escala de <i>Likert</i> , na ação expressa (Sim/Não) e na relevância da justificação apresentada pelos alunos. .... | 19 |

## Lista de figuras

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1- Médias de classificação (%) obtidas no pré e pós-teste de consciencialização ambiental por questão (Q1 a Q10 e Q13), incluindo a diferença percentual (DP) entre ambos.....                                                                                                                  | 16 |
| Figura 2 - Ganhos normalizados de <i>Hake</i> (g) por questão do teste de consciencialização ambiental (Q1 a Q10 e Q13). A linha (a) indica o limiar de ganho baixo ( $g = 0,3$ ) e a linha (b) o limiar de ganho elevado ( $g = 0,7$ ), segundo a classificação de <i>Hake</i> (Hake, 1998).<br>..... | 18 |
| Figura 3 -Distribuição do Nível Global de Preocupação Ambiental da percentagem dos alunos no a) pré-teste e b) pós-teste, com base na escala qualitativa (MB – Muito Baixa, B – Baixa, M – Moderada, A – Alta, MA – Muito Alta). ....                                                                  | 20 |

## Lista de equações

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Equação 1 - Fórmula de cálculo do ganho médio normalizado ( $g$ ), conforme proposto por <i>Hake</i> (Hake, 1998)..... | 14 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## Lista de abreviaturas

|       |                                                          |
|-------|----------------------------------------------------------|
| 5Es   | Envolver, Explorar, Explicar, Elaborar e Avaliar         |
| AL    | Atividade Laboratorial                                   |
| CTSA  | Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente                    |
| g     | Ganho normalizado de Hake                                |
| IPP   | Iniciação à Prática Profissional                         |
| NoS   | Natureza da Ciência (Nature of Science)                  |
| REACT | Relacionar, Experimentar, Aplicar, Cooperar e Transferir |
| STSE  | Science-Technology-Society-Environment                   |

## Introdução

O estágio pedagógico realizado ao longo do presente ano letivo proporcionou uma vivência integrada das vertentes didática e científica de Física e Química, permitindo articular os conteúdos disciplinares com as exigências da prática letiva e da investigação educacional. Neste contexto, optou-se por aprofundar o tema reações ácido-base com recurso à abordagem CTSA (Ciência-Tecnologia-Sociedade-Ambiente), por se tratar de um domínio conceptual nuclear do currículo e, simultaneamente, de grande relevância socioambiental. A ligação entre fenómenos como a acidificação dos oceanos, as chuvas ácidas ou a drenagem ácida de minas e os equilíbrios ácido-base oferece um terreno fértil para promover aprendizagens significativas, pensamento crítico e consciência cidadã, sendo estes considerados objetivos centrais da formação científica atualmente preconizada.

A investigação aqui apresentada procurou, assim, avaliar de que modo a integração de problemas reais no ensino das reações ácido-base influencia as aprendizagens, atitudes e níveis de envolvimento dos alunos do 11.º ano de Ciências e Tecnologias. Para tal, concebeu-se uma sequência didática que combinou atividades laboratoriais, análise de dados autênticos e um debate interdisciplinar em formato de *role-play*. O percurso investigativo adotou uma metodologia mista: instrumentos quantitativos (pré e pós-teste de consciencialização ambiental) permitiram aferir progressos conceptuais e atitudinais, enquanto as entrevistas forneceram evidência qualitativa sobre perceções, motivações e desenvolvimento de competências.

O Capítulo 1 apresenta sinteticamente o *dossier* de estágio, enquadrando as experiências desenvolvidas em Física e Química. O Capítulo 2 oferece o enquadramento teórico: inicia-se com a revisão científica dos conceitos de ácido, base e equilíbrio ácido-base, seguida da análise de fenómenos ambientais associados, e converge depois para o *corpus* de investigação em Educação em Química, com ênfase na abordagem CTSA aplicada a este tema. O Capítulo 3 situa a intervenção no quadro curricular e nas orientações programáticas do ensino secundário.

O Capítulo 4 descreve a prática em terreno escolar e o ensaio de investigação, explicitando os objetivos, desenho metodológico, caracterização dos participantes, estratégias de intervenção, instrumentos de recolha e procedimentos de tratamento de dados. No Capítulo 5 apresentam-se e discutem-se os resultados: primeiro os dados quantitativos do teste de consciencialização ambiental; depois a análise qualitativa das entrevistas, organizada em cinco categorias temáticas; por fim, uma discussão

comparativa com a literatura. O Capítulo 6 sintetiza as conclusões e reflete sobre a significância do estudo para a Educação em Química e em Ciências. O Capítulo 7 contém uma reflexão autocrítica e perspetiva projetos futuros. Referências bibliográficas e anexos fecham o trabalho, reunindo a documentação de suporte (guiões, instrumentos e materiais utilizados).

## 1. Dossier de estágio: apresentação sintética

O dossier de estágio, acessível através do [link](#), reúne a totalidade da atividade desenvolvida ao longo do ano letivo no âmbito da prática pedagógica supervisionada em Física e Química. Trata-se de um documento extenso e organizado, que reflete o trabalho realizado em múltiplas dimensões da formação docente, articulando a componente didática com a vertente científica e investigativa.

O dossier contempla a caracterização da escola de acolhimento e das turmas acompanhadas, bem como os planos de aula, recursos didáticos e materiais pedagógicos elaborados para os diferentes níveis de ensino lecionados — 7.º, 11.º e 12.º anos. Inclui ainda os instrumentos de recolha de dados utilizados na investigação, como testes diagnósticos, guiões de atividades laboratoriais e entrevistas, bem como os respetivos consentimentos informados.

Adicionalmente, o dossier integra evidências do apoio prestado à docência, da participação em atividades extracurriculares, da colaboração em reuniões pedagógicas e da formação contínua frequentada durante o ano. Por fim, inclui uma reflexão autocrítica sobre o percurso formativo e profissional.

## 2. Enquadramento teórico

### 2.1 Enquadramento científico

#### 2.1.1. Definição de ácido e base

A compreensão dos conceitos de ácido e base evoluiu ao longo do tempo, refletindo os avanços da ciência química. No final do século XVIII, Lavoisier propôs que os ácidos eram substâncias que continham oxigénio, com base na composição de ácidos como o sulfúrico e o nítrico (Chougule, 2022; Eknayan, 2022). No entanto, no início do século XIX, Humphry Davy refutou essa ideia ao demonstrar que o ácido clorídrico (HCl) não continha oxigénio, identificando o hidrogénio como o elemento comum entre os ácidos (Eknayan, 2022; Lesney, 2003).

Em 1838, Justus von Liebig definiu os ácidos como substâncias com hidrogénio substituível por metais, antecipando a teoria de Arrhenius. Em 1884, este cientista sueco estabeleceu uma definição baseada na dissociação iónica em solução aquosa: os ácidos aumentam a concentração de iões hidrónio ( $H^+$ ) e as bases a de iões hidróxido ( $OH^-$ ). Apesar do seu valor explicativo, esta teoria limitava-se a soluções aquosas (Eknayan, 2022; Lesney, 2003; Moura Souza & Aricó, 2017).

Com o avanço do conhecimento químico, tornou-se necessário desenvolver uma definição mais abrangente que não dependesse exclusivamente da presença de água.

Em 1923, Johannes Brønsted e Thomas Lowry propuseram uma definição mais ampla, descrevendo os ácidos como dadores de protões e as bases como aceitadores, válida em diversos solventes e até em fase gasosa. Nesse mesmo ano, Gilbert Lewis ampliou ainda mais o conceito ao definir os ácidos como aceitadores de pares de eletrões e as bases como doadores, permitindo explicar reações sem transferência de protões, como a formação de complexos metálicos na química inorgânica e na química orgânica avançada (Smith, 2022; Story, 2004).

#### 2.1.2. Equilíbrio ácido-base

A teoria de Brønsted-Lowry, amplamente aceite, define ácidos como dadores de protões ( $H^+$ ) e bases como aceitadores de protões, estabelecendo a noção de pares conjugados ácido-base. Este conceito permite descrever reações reversíveis, onde a constante de equilíbrio define a extensão na ionização ou dissociação do ácido ou da base, sendo expressa pelas constantes de acidez ( $K_a$ ) e basicidade ( $K_b$ ). Estas constantes são fundamentais para a compreensão do comportamento das substâncias em solução e determinam a sua força relativa. Quanto maior a  $K_a$ , mais forte é o ácido, sendo a sua

ionização mais extensa em solução. Para bases, o mesmo raciocínio aplica-se a  $K_b$ , podendo ionizar-se ou dissociar-se, dependendo de se tratar de compostos moleculares ou de compostos iónicos, respetivamente. A relação entre estas constantes e a constante de autoionização da água é expressa por:

$$K_w = K_a \times K_b$$

onde  $K_w$  é a constante de autoionização da água  $1,0 \times 10^{-14}$  (a 25 °C) (Barke, 2023; Chang, 2007; Paiva et al., 2022).

A escala de pH foi desenvolvida para medir a acidez de uma solução, sendo definida como o logaritmo negativo da concentração do ião oxónio ( $H_3O^+$ ):

$$pH = -\log[H_3O^+]$$

De forma equivalente, o pOH mede a concentração de iões hidróxido ( $OH^-$ ), verificando-se a 25 °C que  $pH + pOH = 14$ . Este princípio permite determinar o pH de uma solução quando se conhece a concentração de  $H_3O^+$  ou de  $OH^-$ , sendo fundamental para o controlo de processos químicos e biológicos (Barke, 2023; Chang, 2007; Paiva et al., 2022).

As soluções tampão são sistemas, em equilíbrio, de um ácido fraco com a sua base conjugada (ou de uma base fraca com o respetivo ácido conjugado) que mantêm o pH praticamente constante quando pequenas quantidades de  $H_3O^+$  ou  $OH^-$  são adicionadas. Esta capacidade de atenuar variações de acidez é essencial em sistemas biológicos, como o sangue, e tem aplicações ambientais, como por exemplo, no tratamento de efluentes e na mitigação da acidificação dos solos. O seu comportamento quantitativo é descrito pela equação de *Henderson–Hasselbalch*:

$$pH = pK_a + \log \frac{[base\ conjugada]}{[ácido]}$$

onde  $pK_a = -\log K_a$ . Esta equação é amplamente utilizada para calcular o pH de soluções tampão e prever a sua capacidade de resistência a variações de acidez (Hulanicki & Głąb, 2005; Palmer, 2024; Subirats et al., 2015).

Para determinar o pH de soluções contendo ácidos ou bases fracos, é essencial considerar as suas constantes de acidez ou basicidade, respetivamente. Para um ácido fraco, a concentração de iões oxónio pode ser obtida a partir da equação:

$$[H_3O^+] = \sqrt{K_a \times [ácido]}$$

Da mesma forma, para bases fracas, a concentração de  $\text{OH}^-$  pode ser obtida através da  $K_b$ , permitindo o cálculo do  $\text{pOH}$ , e, conseqüentemente, do  $\text{pH}$  (Hulanicki & Głąb, 2005; Palmer, 2024; Subirats et al., 2015).

### 2.1.3. Fenómenos ambientais relacionados com ácido-base

As reações ácido-base desempenham um papel fundamental em diversos fenómenos ambientais, com impacto significativo nos ecossistemas, na saúde pública e na economia. A introdução de substâncias ácidas ou básicas no meio ambiente pode alterar drasticamente o equilíbrio químico da água, do solo e da atmosfera, resultando em efeitos adversos de larga escala. Entre os principais fenómenos ambientais relacionados com ácido-base, destacam-se as chuvas ácidas, a acidificação dos oceanos, a poluição da água e o tratamento de efluentes industriais (Mohajan, 2019).

As chuvas ácidas constituem um dos problemas ambientais mais estudados no âmbito das reações ácido-base, resultando da emissão de óxidos de enxofre ( $\text{SO}_x$ ) e de nitrogénio ( $\text{NO}_x$ ), provenientes sobretudo da combustão de combustíveis fósseis por indústrias, centrais termoelétricas e transportes. Estes gases reagem com o vapor de água atmosférico, originando ácidos como o sulfuroso ( $\text{H}_2\text{SO}_3$ ), sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) ou nitroso ( $\text{HNO}_2$ ), que se incorporam nas precipitações sob forma de chuva, neve ou neblina ácida (Grennfelt et al., 2020; Zhang et al., 2024). Este fenómeno altera o  $\text{pH}$  de massas de água, reduzindo a biodiversidade aquática ao comprometer a sobrevivência de espécies sensíveis à acidificação. Nos solos, favorece a lixiviação de nutrientes como cálcio e magnésio e aumenta a solubilidade de metais tóxicos, como o alumínio, que afetam o crescimento vegetal e a produtividade agrícola. Além disso, o ácido sulfúrico reage com o carbonato de cálcio presente em monumentos de calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), promovendo a sua corrosão e degradação progressiva (Gurgen, 2017; Ibrahim et al., 2024).

A acidificação dos oceanos resulta da dissolução de  $\text{CO}_2$  atmosférico nas águas marinhas, formando ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), que ao ionizar, liberta iões oxónio ( $\text{H}_3\text{O}^+$ ) e, conseqüentemente reduz o  $\text{pH}$  dos oceanos (Doney et al., 2020; Stewart et al., 2025). Este fenómeno compromete a disponibilidade de iões carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), fundamentais para a calcificação de organismos como corais, moluscos e plâncton calcário. A diminuição da taxa de calcificação afeta o crescimento, a reprodução e a sobrevivência destas espécies, perturbando ecossistemas marinhos e cadeias alimentares e colocando em risco atividades económicas como a pesca (Jia et al., 2024; Sharp et al., 2024).

Paralelamente, a poluição da água por substâncias ácidas ou básicas está frequentemente associada à descarga de efluentes industriais, agrícolas e domésticos sem o devido tratamento. Indústrias como a metalúrgica, têxtil e de produção química libertam águas residuais contendo ácidos e bases fortes, que alteram o pH de rios e lagos, com efeitos prejudiciais nos organismos aquáticos. A drenagem ácida de minas constitui um exemplo crítico, em que a oxidação de minerais sulfurados gera ácido sulfúrico, diminuindo fortemente o pH e aumentando a solubilidade de metais pesados tóxicos, como ferro, cobre, zinco, chumbo, etc. (Meenakshipriya et al., 2009; Sharma & Ahammed, 2023; Zhang et al., 2021).

O tratamento destas águas contaminadas requer processos de neutralização química, utilizando substâncias químicas apropriadas, como hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ou carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), que reagem com os ácidos presentes, restabelecendo valores de pH compatíveis com os ecossistemas. Para além disso, a aplicação de soluções tampão contribui para evitar variações bruscas de pH, assegurando maior estabilidade e proteção para a fauna e flora aquáticas (Meenakshipriya et al., 2009; Sharma & Ahammed, 2023; Zhang et al., 2021).

## 2.2 Enquadramento de investigação educacional

### 2.2.1. Abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente)

A abordagem CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente) surgiu no início do século XX, promovendo uma visão integrada da ciência com a tecnologia, as questões sociais e as problemáticas ambientais. Esta abordagem foi impulsionada pelo avanço tecnológico e pelas crescentes preocupações ambientais e éticas, permitindo que os alunos desenvolvam um pensamento crítico e uma compreensão mais abrangente sobre o impacto da ciência no mundo moderno, superando a tradicional transmissão de conhecimentos descontextualizados (Pedretti & Nazir, 2011).

Consolidada como um modelo centrado na resolução de problemas e na tomada de decisões informadas, a abordagem CTSA enfatiza as interações entre ciência e sociedade. Ao invés de apresentar a ciência como um corpo de conhecimentos isolados, incentiva os alunos a refletirem sobre questões como a sustentabilidade, o impacto das inovações tecnológicas e as implicações éticas das descobertas científicas, aproximando os conteúdos científicos dos desafios do mundo real (Pedretti et al., 2008; Silva, 2020).

A ciência e a tecnologia estão profundamente interligadas, uma vez que o avanço científico conduz ao desenvolvimento de novas tecnologias, que, por sua vez, facilitam

novas descobertas científicas. Exemplos disso incluem o desenvolvimento de novos materiais como sensores de pH digitais utilizados na monitorização da qualidade da água potável, desenvolvimento de materiais para a captura e neutralização de gases, filtros alcalinos e catalisadores industriais (Pedretti et al., 2008; Silva, 2020).

Para além disso, segundo alguns autores, nomeadamente Jiménez-Liso M. et al., a ciência desempenha um papel crucial na formulação de decisões ambientais e sociais, como a regulação da acidez dos solos na agricultura, o tratamento de águas residuais e as políticas ambientais para a redução das chuvas ácidas, processos que envolvem não apenas aspetos técnicos, mas também implicações éticas e políticas (Jiménez-Liso et al., 2020; Pedretti, 2003; Silva, 2020).

Adicionalmente, a abordagem CTSA destaca a importância da consciencialização ambiental, sublinhando o papel da ciência na mitigação dos efeitos da atividade humana. Problemas como a poluição do ar e da água, a acidificação dos oceanos e as alterações climáticas exigem uma abordagem científica para serem compreendidos e resolvidos. Segundo MacLeod et al. e Pedretti et al., ao analisarem estas questões, os alunos desenvolvem um pensamento crítico e uma maior responsabilidade na preservação do meio ambiente, compreendendo como o conhecimento químico pode ser aplicado para minimizar danos ambientais e promover um desenvolvimento mais sustentável (Diane Pereira et al., 2021; Figueiredo & Mendes, 2023; MacLeod, 2015; Pedretti, 2003; Pedretti & Bellomo, 2013; Silva, 2020).

### 2.2.2. Contextualização CTSA no ensino de ácido-base

Na abordagem CTSA, o ensino das reações ácido-base é baseado na resolução de problemas reais, desafiando os alunos a analisar situações concretas em que estas reações assumem um papel central. Temas como a acidificação dos oceanos, a poluição atmosférica ou o tratamento de águas residuais são trabalhados de forma prática, relacionando conceitos como o pH, as soluções tampão e a neutralização com problemáticas ambientais e industriais. Atividades experimentais e simulações facilitam a compreensão dos fenómenos químicos subjacentes, promovendo o desenvolvimento do pensamento crítico (Ayres-Pereira et al., 2024; Giffoni et al., 2020; Nuray Yörük, 2010).

A discussão de controvérsias científicas é também uma estratégia relevante nesta abordagem, pois permite aos alunos reconhecer que o conhecimento científico é dinâmico, em constante evolução, sujeito a debates e implicações sociais (Giffoni et al., 2020; Nuray Yörük, 2010). Questões como o uso de fertilizantes, a acidificação dos

solos, os efeitos das chuvas ácidas ou o recurso a antiácidos na medicina podem ser debatidas criticamente, incentivando a reflexão sobre riscos e benefícios associados a diferentes soluções químicas (Ayres-Pereira et al., 2024).

Promover a tomada de decisão informada constitui outra competência essencial, incentivando os alunos a ponderar diferentes perspetivas e a fundamentar as suas escolhas em evidências científicas. No ensino das reações ácido-base, tal pode ser exercitado através da análise de políticas ambientais, da escolha de métodos sustentáveis para o controlo da acidez em contextos industriais ou agrícolas, ou da avaliação dos efeitos do consumo de substâncias químicas no quotidiano. A realização de debates, estudos de caso e projetos interdisciplinares são estratégias eficazes para o envolvimento dos alunos (Ayres-Pereira et al., 2024; Giffoni et al., 2020; Nuray Yörük, 2010).

A abordagem CTSA tem sido objeto de ampla investigação no ensino da Química, com vista a avaliar os seus efeitos na aprendizagem, motivação e compreensão dos conceitos ácido-base. Estudos recentes indicam que esta abordagem promove aprendizagens mais significativas, ao articular a ciência com contextos reais, fomentando o envolvimento ativo e o pensamento crítico dos alunos (Ayres-Pereira et al., 2024; Giffoni et al., 2020; Nuray Yörük, 2010).

Um estudo desenvolvido com alunos do 11.º ano do ensino português (Carvalhosa, 2015) demonstrou que, apesar das dificuldades iniciais na interpretação das questões e na utilização de linguagem científica, os alunos melhoraram as suas competências conceptuais e processuais ao longo das atividades. Estas incluíram investigações, tarefas experimentais e simulações (*role-play*) sobre temas como a chuva ácida, a neutralização e a qualidade da água. Este processo facilitou a compreensão da aplicação dos conceitos ácido-base em problemas ambientais e sociais.

Outro estudo conduzido na Indonésia com 62 alunos do 11.º ano (Priyambodo et al., 2021), avaliou o impacto da aprendizagem colaborativa baseada na abordagem CTSA. Ao comparar um grupo experimental, que recorreu a estratégias cooperativas e a problemáticas sociais, com um grupo de controlo com ensino mais expositivo, constatou-se um aumento significativo da motivação e do envolvimento dos alunos.

A integração da Natureza da Ciência (NoS) no ensino das reações ácido-base tem sido também explorada. Um estudo com alunos do ensino secundário e universitário propôs transformar atividades laboratoriais simples, como o uso da couve roxa como indicador de pH, em investigações guiadas. Esta abordagem incentivou a formulação de

hipóteses, a análise crítica de resultados e a contextualização dos conceitos com a sua evolução histórica, promovendo uma compreensão mais profunda dos conteúdos (Jiménez-Liso, 2020).

Outras investigações centraram-se na implementação de abordagens CTSA no ensino do conceito de acidez, através de atividades práticas e saídas de campo. Um caso de estudo realizado na Mina de São Domingos (situada na região do Alentejo, Portugal), uma região afetada pela poluição mineira e pela formação de águas ácidas, demonstrou que os alunos que participaram na análise do pH dos solos e das águas contaminadas, bem como na realização de titulações e processos laboratoriais de extração de metais, não só melhoraram a compreensão dos equilíbrios ácido-base, como também desenvolveram uma maior consciência ambiental (Martins, 2009).

A importância da formação contínua de professores no contexto da abordagem CTSA também tem sido destacada na literatura. Uma revisão de mais de 700 artigos publicados entre 2018 e 2020 concluiu que, embora o ensino mais expositivo continue a ser predominante, metodologias interdisciplinares e contextualizadas, como a abordagem CTSA, favorecem uma aprendizagem mais significativa e aumentam o envolvimento dos alunos (Araújo & Sampaio, 2022).

Estudos que analisaram o impacto da abordagem CTSA associada a diferentes metodologias pedagógicas revelaram que estratégias como o método REACT (Relacionar, Experimentar, Aplicar, Cooperar e Transferir) e o modelo dos 5Es (Envolver, Explorar, Explicar, Elaborar e Avaliar) são eficazes na retenção do conhecimento e na motivação dos alunos. Comparando estas abordagens com o ensino mais expositivo, verificou-se que os alunos que participaram em atividades que integram a abordagem CTSA apresentaram uma melhor compreensão dos conceitos ácido-base e demonstraram maior capacidade para aplicar esse conhecimento em novos contextos (Ültay & Çalik, 2016).

De um modo geral, a investigação sobre o ensino da química confirma que a abordagem CTSA melhora a aprendizagem dos alunos ao associar os conceitos de ácido-base a problemas reais, tornando o ensino mais relevante e envolvente. A inclusão de temas ambientais, como a chuva ácida e o tratamento de águas residuais, aliada a estratégias pedagógicas ativas, contribui para uma melhor compreensão dos conteúdos e para a formação de cidadãos mais críticos e responsáveis perante a ciência e o meio ambiente (Araújo & Sampaio, 2022; Carvalhosa, 2015; Jiménez-Liso, 2020; Martins, 2009; Priyambodo et al., 2021; Ültay & Çalik, 2016).

### 3. Enquadramento didático-curricular

A compreensão dos conceitos de ácido e base é fundamental para a análise de fenómenos químicos e para o entendimento de questões ambientais contemporâneas, como a acidificação da chuva, a poluição industrial, o tratamento de águas residuais-neutralização de pH, assim como os seus impactes nos ecossistemas. A abordagem CTSA permite que os alunos não apenas aprendam os conceitos científicos, mas também analisem as suas implicações sociais e ambientais, promovendo um espírito crítico e uma cidadania ativa.

As Aprendizagens Essenciais de Física e Química A que se enquadram neste contexto são:

- Identificar marcos históricos importantes na interpretação de fenómenos ácido-base, culminando na definição de ácido e base de acordo com Brønsted e Lowry.
- Relacionar as concentrações dos iões  $\text{H}_3\text{O}^+$  e  $\text{OH}^-$ , bem como o pH com aquelas concentrações em soluções aquosas, e, determinar o pH de soluções de ácidos (ou bases) fortes.
- Interpretar a acidez da chuva normal e a formação de chuvas ácidas, explicando algumas das suas consequências ambientais.
- Pesquisar, numa perspetiva intra e interdisciplinar, formas de minimizar a chuva ácida, a nível pessoal, social e industrial, e comunicar as conclusões (DGE, 2018b).

As Aprendizagens essenciais de Biologia e Geologia são:

- Relacionar a diversidade biológica com intervenções antrópicas que podem interferir na dinâmica dos ecossistemas (interações bióticas/abióticas, extinção e conservação de espécies) (DGE, 2018a).

A intervenção didática desenvolvida enquadra-se nos documentos orientadores da política educativa nacional, nomeadamente no Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória (PASEO), ao promover competências como o pensamento crítico, a responsabilidade e a consciência ambiental. Está também alinhada com o Referencial de Educação para a Cidadania, no domínio da Educação Ambiental para a Sustentabilidade, ao trabalhar problemas reais e incentivar a participação ativa dos alunos. Por fim, responde aos princípios da Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania (ENEC), ao articular ciência, ambiente e cidadania numa abordagem interdisciplinar e contextualizada (Educação, 2016, 2017a, 2017b).

## 4. Prática em terreno escolar e ensaio de investigação

### 4.1. Objetivos do estudo

O presente estudo teve como finalidade investigar o efeito da implementação de uma abordagem CTSA no ensino das reações ácido-base. Pretendeu-se, assim, compreender de que modo a integração dos conteúdos científicos com problemáticas socioambientais reais influencia a aprendizagem, a motivação, o pensamento crítico e a perceção dos alunos sobre a ciência e o seu papel na sociedade. De seguida, apresenta-se, de forma mais específica, os objetivos definidos para a presente investigação:

1. Compreender o efeito da abordagem CTSA na aprendizagem dos conceitos de reações ácido-base, explorando a ligação entre os conteúdos científicos e questões socioambientais.
2. Avaliar a capacidade dos alunos em aplicar conhecimentos científicos para compreender e propor soluções para problemas reais.
3. Promover o desenvolvimento de pensamento crítico, da consciencialização ambiental e da cidadania ativa, incentivando a reflexão sobre as dimensões éticas, sociais, tecnológicas e ambientais da Química.
4. Explorar as perceções e preferências dos alunos relativamente à abordagem CTSA, em contraste com o ensino expositivo, analisando o seu impacto na motivação, envolvimento e experiência de aprendizagem.

### 4.2. Caracterização do estudo e metodologia usada

O presente estudo desenvolveu-se no âmbito da investigação educacional, adotando uma abordagem metodológica mista, com predominância qualitativa, complementada por elementos quantitativos, de modo a conjugar as potencialidades de ambas as metodologias e permitir uma análise mais válida e interpretável (Townsend, 2008). A natureza da investigação enquadra-se numa lógica de intervenção pedagógica reflexiva, uma vez que parte de uma problemática concreta do ensino, designadamente a dificuldade na aprendizagem e contextualização dos conteúdos de reações ácido-base, e procura implementar, acompanhar e refletir sobre uma estratégia pedagógica inovadora em contexto real de sala de aula. Simultaneamente, este trabalho irá integrar componentes quantitativas, através da aplicação de instrumentos de avaliação antes e depois da intervenção.

Esta metodologia mista permitiu avaliar não apenas os conhecimentos adquiridos, mas também as transformações atitudinais e o envolvimento dos alunos com os problemas sociais e ambientais, articulando os objetivos pedagógicos com uma educação para a cidadania científica.

### 4.3. Descrição dos participantes

O estudo foi desenvolvido com uma turma do ensino secundário do 11.º ano do curso de Ciências e Tecnologias, composta por 17 alunos, com idades compreendidas entre os 15 e os 18 anos. A distribuição etária é globalmente adequada ao nível de escolaridade, embora existam alguns casos de alunos com idade ligeiramente superior, o que se justifica por percursos escolares diferenciados.

A turma é marcada por uma grande diversidade cultural, com alunos de várias nacionalidades, o que enriquece os momentos de debate e partilha de perspetivas. Do ponto de vista cognitivo, verifica-se uma forte heterogeneidade, com alunos de elevado desempenho e outros com dificuldades significativas, exigindo estratégias de ensino diferenciadas. Ainda assim, o grupo revela maturidade, responsabilidade, respeito e uma atitude colaborativa.

Relativamente à amostragem, participaram 13 alunos no pré e pós-teste de consciencialização ambiental e no caso das entrevistas individuais, participaram apenas 10 alunos.

### 4.4. Descrição das estratégias de intervenção adotadas na investigação e do material desenvolvido

A intervenção pedagógica desenvolvida no âmbito deste estudo assentou na implementação de uma sequência de atividades fundamentadas na abordagem CTSA. As estratégias adotadas privilegiaram a resolução de problemas reais, o debate informado, a experimentação e a reflexão crítica. A opção por esta abordagem justificou-se pela sua capacidade de promover aprendizagens mais significativas, contextualizadas e integradas, permitindo aos alunos estabelecer ligações entre os conteúdos científicos, os desafios ambientais e as suas implicações sociais, económicas e políticas.

Assim, o projeto foi implementado ao longo de duas semanas letivas, durante as quais foram dinamizadas três atividades principais:

1. Leitura e análise de uma notícia adaptada sobre a problemática das chuvas ácidas, com o objetivo de introduzir o tema, promover a leitura crítica e

contextualizar os fenómenos químicos em estudo numa perspetiva social e ambiental (ver Anexo 1).

2. Atividade laboratorial de neutralização de uma solução ácida simulada, representando a água contaminada de uma mina. Os alunos, organizados em pequenos grupos, utilizaram diferentes substâncias de natureza básica, algumas no estado sólido e outras na forma de soluções aquosas, para proceder à neutralização da solução ácida, monitorizando a variação do pH com o auxílio de um medidor digital. Esta atividade teve como objetivo reforçar a compreensão das reações ácido-base, em particular o conceito de neutralização, bem como desenvolver competências experimentais, de análise e de trabalho colaborativo (ver relatório orientado no Anexo 2).
3. Debate interdisciplinar com base em diferentes perspetivas científicas e sociais, centrado na temática da acidificação dos oceanos. Nesta atividade, os alunos assumiram o papel de especialistas de diferentes áreas (Química, Biologia, Economia/Sociedade), argumentando a partir das suas investigações para defender propostas de mitigação (*role-play*). Esta estratégia teve como finalidade articular saberes, promover o pensamento crítico, o espírito de cidadania e a capacidade de comunicação e argumentação. Posteriormente, os alunos reuniram-se em grupos mistos (com representantes de cada área) para a elaboração de um póster de síntese, que incluía o enquadramento do problema, os impactes identificados e as soluções propostas. Este produto final permitiu consolidar os conhecimentos e competências desenvolvidos ao longo do projeto.

Desta forma, o plano de intervenção incluiu uma sequência didática estruturada que combinou leitura e interpretação de notícia adaptada, atividades laboratoriais, realização de um debate multidisciplinar (*role-play*), elaboração de um póster científico e momentos de discussão em grupo, promovendo uma abordagem interdisciplinar e colaborativa.

## 4.5. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

A investigação recorreu a uma metodologia mista, integrando técnicas quantitativas e qualitativas de recolha de dados, de forma a garantir uma compreensão abrangente do impacto da abordagem CTSA na aprendizagem dos alunos, na sua motivação e no desenvolvimento de competências transversais.

### 4.5.1. Pré e pós-teste de consciencialização e compreensão conceptual

Foi aplicado um teste composto por 15 questões, aplicado antes e após a intervenção didática (ver Anexo 3). Este teste incluiu três questões de escolha múltipla, destinadas a avaliar conhecimentos conceptuais sobre reações ácido-base e fenómenos associados; uma questão com escala de *Likert*, para aferir o nível de preocupação ambiental dos alunos; e 11 questões de resposta aberta, com diferentes níveis de complexidade cognitiva, elaboradas com base na Taxonomia de Bloom (Bloom &

Krathwohl, 1969), abrangendo desde a compreensão de conceitos científicos até à análise, reflexão crítica e aplicação de conhecimentos a contextos reais.

A comparação dos resultados permitiu avaliar os progressos conceptuais e atitudinais dos alunos ao longo do projeto. Para quantificar esse progresso recorreu-se ao ganho normalizado de *Hake* (Hake, 1998), indicador amplamente utilizado em investigação em educação em ciências para medir o impacto de intervenções pedagógicas.

Este ganho, designado por  $g$ , representa a proporção da aprendizagem potencial que foi efetivamente realizada, sendo calculado segundo a equação 1, onde os valores de *pré* e *pós-teste* correspondem às médias percentuais de desempenho obtidas pela turma. Assim, o valor de  $g$  varia entre 0 (ausência total de progresso) e 1 (aquisição total dos conteúdos inicialmente não dominados).

$$g = \frac{\%pós - \%pré}{100 - \%pré} \quad (1)$$

Equação 1 - Fórmula de cálculo do ganho médio normalizado ( $g$ ), conforme proposto por *Hake* (Hake, 1998).

De acordo com *Hake* (Hake, 1998), os valores de  $g$  podem ser classificados como baixo ( $g < 0,30$ ), intermédio ( $0,30 \leq g < 0,70$ ) ou elevado ( $g \geq 0,70$ ).

#### 4.5.2. Entrevista final

No final do projeto, foi aplicada uma entrevista com 13 questões abertas, que procurou aprofundar as perceções dos alunos sobre a abordagem adotada, as atividades realizadas, o impacto da contextualização dos conteúdos e o valor atribuído ao trabalho interdisciplinar. Incluiu ainda questões sobre as preferências dos alunos relativamente às metodologias de ensino e sugestões para futuras intervenções (ver Anexo 4).

Este instrumento permitiu obter dados qualitativos ricos, que foram analisados por categorias temáticas, com base numa análise de conteúdo (Bardin, 2013), e ilustrados com citações dos próprios alunos.

### 4.6. Considerações sobre a recolha e o tratamento dos dados

A recolha e o tratamento dos dados respeitaram os princípios éticos da investigação educativa, tendo sido obtido consentimento informado por escrito dos encarregados de educação para a gravação das entrevistas (ver Anexo 5). Apenas foram entrevistados os alunos que participaram em todas as atividades do projeto e cujos encarregados de educação autorizaram formalmente a sua inclusão. Os alunos que não cumpriram ambos os critérios foram excluídos dessa fase da recolha de dados.

Durante a aplicação dos instrumentos, foram assegurados o anonimato e a confidencialidade dos participantes. As respostas ao pré e pós-teste, bem como ao

questionário final, foram codificadas com identificadores alfanuméricos (ex.: A1, A2...), garantindo a proteção da identidade dos alunos.

Os dados quantitativos obtidos através do pré e pós-teste foram analisados por comparação direta das respostas, com o objetivo de avaliar a evolução das aprendizagens e atitudes. Complementarmente, aplicaram-se medidas estatísticas descritivas simples (frequências relativas) e o cálculo do ganho normalizado de *Hake* (g), para aferir o impacto da intervenção nas aprendizagens dos alunos.

A análise dos dados qualitativos, obtidos a partir das entrevistas realizadas aos alunos, seguiu uma abordagem de análise de conteúdo baseada em categorias definidas *à priori* e que foram posteriormente ajustadas com base nas evidências emergentes das respostas dos participantes (ver tabela 1). Este processo implicou a leitura integral das respostas, a identificação de ideias-chave e a categorização dos testemunhos em cinco grandes categorias temáticas, previamente discutidas e validadas à luz dos objetivos do estudo. A seleção de citações representativas procurou respeitar a diversidade das opiniões e garantir a fidelidade às palavras dos alunos, usando reticências "(...)" apenas para encurtar passagens, sem qualquer modificação de conteúdo.

Tabela 1 - Categorias de análise das entrevistas realizadas aos alunos e respetiva descrição.

| <b>Categorias</b>                                                                | <b>Perguntas associadas</b> | <b>Descrição</b>                                                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A. Compreensão do fenómeno científico                                            | P1 e P2                     | Capacidade de os alunos explicarem os fenómenos estudados (reações ácido-base, neutralização e acidificação dos oceanos).                                                                                                                          |
| B. Consciencialização ambiental e cidadania                                      | P3 e P4                     | Perceção dos alunos quanto à gravidade dos problemas ambientais abordados e reflexão sobre o seu papel enquanto cidadãos. Referências a possíveis mudanças de comportamento.                                                                       |
| C. Relação com a abordagem CTSA: ciência contextualizada e interdisciplinaridade | P5, P6, P7 e P8             | Valorização da ciência, em particular da Química, na compreensão e resolução de problemas reais, reconhecendo a articulação entre ciência, tecnologia, sociedade e ambiente, bem como a integração entre áreas do saber e o trabalho colaborativo. |
| D. Experiência pedagógica e motivação                                            | P9, P10 e P11               | Avaliação crítica das estratégias utilizadas e do envolvimento com as atividades. Manifestações de preferência relativamente às metodologias usadas.                                                                                               |
| E. Impacte pessoal e futuro                                                      | P12 e P13                   | Efeitos percebidos sobre o impacte da abordagem no percurso escolar e sugestões para melhorar experiências semelhantes.                                                                                                                            |

## 5. Apresentação e discussão dos resultados

### 5.1 Análise quantitativa – Resultados do teste de consciencialização ambiental (pré e pós-teste)

Com o objetivo de avaliar o impacto da abordagem CTSA na aprendizagem dos alunos e na sua consciencialização ambiental, foi aplicado um pré e um pós-teste composto por 15 questões, distribuídas em dois grandes blocos: questões de conhecimento científico/conceitual (Q1–Q10 e Q13) e questões de atitudes e valores (Q11, Q12 e Q14). A Tabela 2 apresenta a tipologia de cada questão e respetivo formato de avaliação, enquanto a Figura 1 ilustra as médias percentuais obtidas por questão no pré e no pós-teste, bem como a diferença percentual (DP) entre ambos.

Tabela 2 - Tipologia das questões do pré e pós-teste de consciencialização ambiental, objetivos de avaliação e tipo de resposta.

| Instrumento                                      | Objetivo                            | Perguntas   | Tipo de avaliação                 |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------------------|
| Pré e pós-testes de consciencialização ambiental | Conhecimento científico/ conceptual | 1 a 10 e 13 | Quantitativa (%)                  |
|                                                  | Atitudes/valores                    | 11 e 12     | Qualitativa (níveis: MB/B/M/A/MA) |
|                                                  |                                     | 14          | Resposta dicotómica: Sim/Não      |

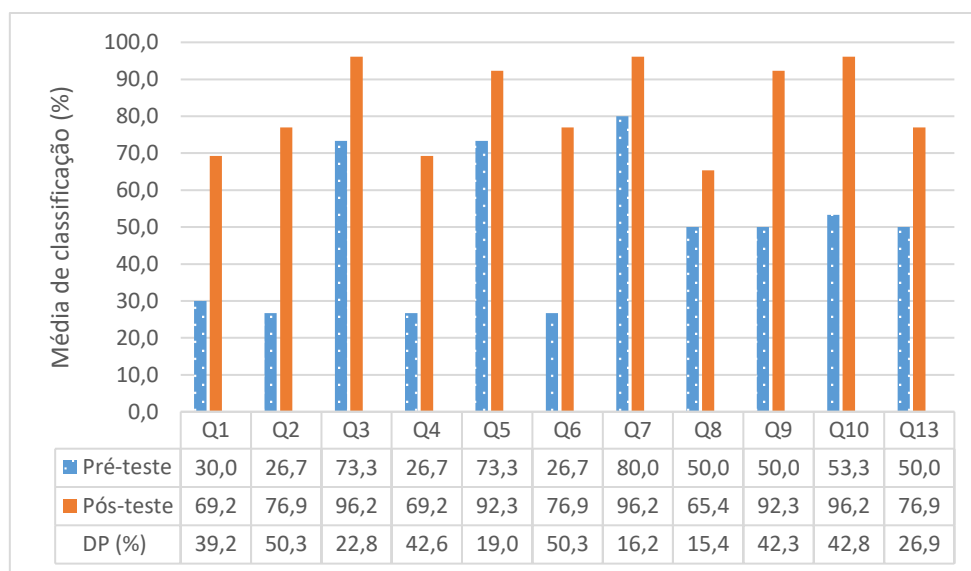


Figura 1- Médias de classificação (%) obtidas no pré e pós-teste de consciencialização ambiental por questão (Q1 a Q10 e Q13), incluindo a diferença percentual (DP) entre ambos.

Pela análise do gráfico e da tabela da figura 1, todas as questões revelam melhorias percentuais entre o pré e o pós-teste de consciencialização ambiental, algumas delas

muito expressivas. São de destacar as questões Q2, Q6, Q10, Q4 e Q9, que apresentaram diferenças percentuais de 50, 50, 43, 43 e 42%, respetivamente.

De realçar que as questões Q3, Q5, Q7, Q9 e Q10 já tinham um desempenho positivo no pré-teste, mas mesmo assim aumentaram.

As questões Q2, Q6 e Q9 centram-se em conteúdos conceptuais da Química, nomeadamente relacionados com reações ácido-base, pH e formação de iões em meio aquoso. Por serem conceitos novos para os alunos, é compreensível que os resultados no pré-teste tenham sido baixos. No entanto, a elevada percentagem de acertos no pós-teste (76,9%, 76,9% e 92,3%, respetivamente) revela uma boa compreensão e retenção desses conteúdos após a intervenção, indicando que a abordagem utilizada facilitou a construção de conhecimento significativo.

As questões Q4 e Q10 exigem, de acordo com a taxonomia de Bloom (Bloom & Krathwohl, 1969), competências cognitivas de nível superior, nomeadamente aplicar e analisar informação. As baixas percentagens no pré-teste refletem essa dificuldade, mas o aumento considerável nos valores do pós-teste (para 69,2% e 96,2% na Q4 e Q10, respetivamente) mostra que os alunos foram capazes de desenvolver essas competências, possivelmente devido às estratégias metodológicas adotadas.

A questão Q1 incidia sobre o fenómeno das chuvas ácidas, pedindo aos alunos que explicassem o que são e como se formam. Embora fosse também de natureza conceptual, apresentou uma melhoria de desempenho reduzida. Era previsível uma percentagem baixa de respostas corretas no pré-teste, dado tratar-se de um conteúdo de natureza mais abstrata, mas esperava-se uma evolução mais expressiva no pós-teste. No entanto, a análise das respostas revelou uma confusão frequente entre o fenómeno das chuvas ácidas e a acidificação dos oceanos, o que está em concordância com os resultados obtidos nas entrevistas.

As questões Q3, Q7 e Q10 relacionam diretamente conteúdos científicos com problemáticas ambientais e sociais, como a preservação dos oceanos, os organismos marinhos e os recifes de coral. Apesar das médias já relativamente altas no pré-teste, os resultados do pós-teste foram muito próximos do excelente (96,2%). Este elevado desempenho pode ser atribuído à estratégia de trabalho cooperativo, complementada pelo debate em *role-play*, que permitiu aos alunos explorar o tema de forma interdisciplinar (perspetiva química, biológica e socioeconómica). Estes dados reforçam a eficácia da abordagem CTSA, ao evidenciar a capacidade dos alunos em articular conhecimento científico com contextos reais e globais.

A aplicação do ganho normalizado de *Hake* (g) (Hake, 1998) permitiu avaliar a eficácia da aprendizagem em termos proporcionais, ou seja, quanto do conteúdo potencialmente aprendível foi efetivamente consolidado pelos alunos (ver gráfico da figura 2).



Figura 2 - Ganhos normalizados de *Hake* (g) por questão do teste de consciencialização ambiental (Q1 a Q10 e Q13). A linha (a) indica o limiar de ganho baixo ( $g = 0,3$ ) e a linha (b) o limiar de ganho elevado ( $g = 0,7$ ), segundo a classificação de *Hake* (Hake, 1998).

Apesar de a média de respostas corretas no pré-teste ser já superior a 50%, à exceção das questões Q1, Q2, Q4 e Q6, o ganho médio manteve-se elevado, o que indica que os alunos não só consolidaram como aprofundaram o conhecimento já existente.

As questões Q3, Q5, Q7, Q9 e Q10 revelaram ganhos superiores a 0,7, sendo assim classificadas como de ganho elevado. Estas questões estão fortemente ligadas à componente ambiental e social da Química, e foram abordadas através de estratégias utilizadas na investigação, reforçando a relevância da abordagem CTSA e consequente aprendizagem significativa.

As questões Q1, Q2, Q4, Q6 e Q13, embora com ganhos classificados como moderados ( $0,3 < g < 0,7$ ), demonstram também progresso sólido, sobretudo por partirem de médias iniciais mais baixas. Estas questões estavam associadas a conteúdos conceptuais novos para os alunos, como reações ácido-base ou formação de iões, pelo que os resultados alcançados são consistentes com uma aprendizagem progressiva.

Embora a Q8 não tenha sido abordada diretamente nas aulas, foi incluída para avaliar a eventual capacidade de transferir e aplicar conhecimentos consolidados sobre reações ácido-base em contextos distintos, como o tratamento de águas. O ganho registado ( $g = 0,31$ ), embora modesto, sugere algum impacto indireto da abordagem

adotada. Este resultado sugere que, mesmo sem ensino explícito, a estrutura geral da intervenção, que promoveu a ligação entre ciência, ambiente e sociedade, foi suficiente para ativar alguns conhecimentos prévios e estimular a construção de novos saberes. Ao mesmo tempo, justifica uma reflexão pedagógica sobre a possibilidade de integrar este tema de forma mais estruturada numa futura intervenção.

Relativamente às questões 11 e 12, que avaliam as atitudes e valores ambientais, foi atribuída a cada aluno uma classificação correspondente ao seu Nível Global de Preocupação Ambiental (ver tabela 3), com base nas suas respostas.

Tabela 3 - Critérios de classificação do Nível Global de Preocupação Ambiental, com base na escala de *Likert*, na ação expressa (Sim/Não) e na relevância da justificação apresentada pelos alunos.

| <b>Escala <i>Likert</i><sup>1</sup></b> | <b>Ação (Sim/Não) com Justificação</b> | <b>Nível Global de Preocupação Ambiental</b> |
|-----------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|
| 1 a 2                                   | Não / Justificação fraca               | Muito Baixa (MB)                             |
| 1 a 2                                   | Sim / Justificação relevante           | Baixa (B)                                    |
| 3                                       | Não / Justificação fraca               | Baixa                                        |
| 3                                       | Sim / Justificação relevante           | Moderada (M)                                 |
| 4                                       | Não / Justificação fraca               | Moderada                                     |
| 4                                       | Sim / Justificação relevante           | Alta (A)                                     |
| 5                                       | Não / Justificação fraca               | Alta                                         |
| 5                                       | Sim / Justificação relevante           | Muito Alta (MA)                              |

A análise dos gráficos da Figura 3, permitiu verificar que, no pré-teste, a maioria dos alunos revelou níveis baixos de preocupação. Os resultados foram os seguintes:

- 47% dos alunos apresentaram uma preocupação baixa (B);
- 40% dos alunos revelaram uma preocupação muito baixa (MB);
- Apenas 13% dos alunos manifestaram uma preocupação moderada (M).

No entanto, após a intervenção pedagógica baseada na abordagem CTSA, os resultados do pós-teste revelam uma evolução significativa, uma vez que:

- O número de alunos com preocupação muito baixa desapareceu;
- 54% dos alunos passaram a demonstrar preocupação moderada (M);
- 15% dos alunos apresentaram mesmo um nível alto (A) de preocupação, o que não se verificava antes;
- Apenas 31% dos alunos mantiveram o nível baixo (B).

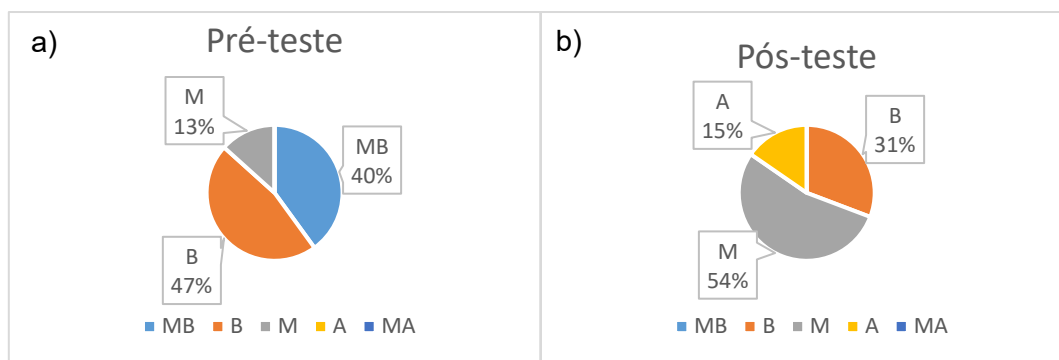


Figura 3 -Distribuição do Nível Global de Preocupação Ambiental da percentagem dos alunos no a) pré-teste e b) pós-teste, com base na escala qualitativa (MB – Muito Baixa, B – Baixa, M – Moderada, A – Alta, MA – Muito Alta).

Esta evolução sugere que a sequência de atividades, nomeadamente o trabalho laboratorial, a análise de fenómenos reais e o debate em formato *role-play*, contribuíram efetivamente para sensibilizar os alunos para a gravidade dos problemas ambientais relacionados com a Química. Esta consciencialização é visível não só na melhoria dos níveis registados, como também nas entrevistas realizadas, onde vários alunos afirmaram que, após esta abordagem, perceberam melhor o problema e se sentiram mais atentos às consequências da atividade humana nos oceanos e no ambiente, assim como entender a gravidade dos problemas ambientais em causa.

## 5.2 Resultados da análise qualitativa das entrevistas

A análise qualitativa das entrevistas realizadas aos alunos teve como objetivo aprofundar a compreensão sobre as suas perceções em relação à abordagem CTSA e ao impacto do projeto no seu percurso escolar. Cada categoria agrupa perguntas com objetivos comuns, permitindo uma análise sistemática e coerente dos testemunhos dos alunos (ver tabela 1, presente no subcapítulo 4.6).

### 5.2.1. Categoria A — Compreensão do fenómeno científico (P1 e P2)

Esta categoria centra-se na capacidade dos alunos para explicarem, com as suas palavras, os fenómenos científicos abordados, nomeadamente a acidificação dos oceanos e o processo de neutralização de uma solução ácida.

Globalmente, observa-se que os alunos demonstraram uma compreensão sólida da acidificação dos oceanos, evidenciando conhecimento das reações químicas envolvidas, como a formação de ácido carbónico a partir da reação do dióxido de carbono com a água e a consequente descida do pH. Sete alunos revelam domínio conceptual e precisão científica, como por exemplo:

*A acidificação dos oceanos é quando o dióxido de carbono que existe na atmosfera é absorvido pela água do mar. O dióxido de carbono reage com a água, formando ácido*

*carbónico, que por sua vez aumenta a concentração de iões  $H^+$ , diminuindo o pH da água. (A6)*

*A acidificação dos oceanos é quando ocorre a diminuição do pH por reações entre a água e o  $CO_2$  presente na atmosfera, reagem e formam o ácido carbónico, que é responsável por tornar os oceanos ácidos (A8).*

No entanto, surgiram também explicações mais vagas ou incompletas, que, embora sem rigor científico, indicam uma ideia geral correta:

*Sim, é quando a água dos oceanos reage com o dióxido de carbono atmosférico, originando ácido carbónico (A9).*

*A acidificação dos oceanos é um processo em que o pH dos oceanos diminui devido aos gases que se misturam com a água dos oceanos (A10).*

Quanto à neutralização de soluções ácidas, as respostas tendem a usar uma linguagem menos técnica, mas demonstram compreensão do processo, indicando que a realização da atividade prática foi decisiva para a consolidação da aprendizagem. Quatro alunos destacam o uso de bases para elevar o pH e o controlo da neutralização através da medição com sensores de pH, destacando-se os seguintes testemunhos:

*Temos de utilizar uma substância básica para neutralizar (...) como fizemos na aula com a água da mina, onde tivemos que calcular quanto utilizar e (...) ir medindo o pH, para ver quando é que chegava entre 6,5 e 7,5. (A5)*

*A neutralização ocorre quando, numa reação entre um ácido e uma base, se forma sal e água (...) lembro-me disso da neutralização da água da mina. (A6)*

### 5.2.2. Categoria B — Consciencialização ambiental e cidadania (P3 e P4)

Esta categoria apresenta as atitudes dos alunos face à gravidade dos problemas ambientais abordados, assim como a reflexão sobre o seu papel enquanto cidadãos; bem como a referência a possíveis mudanças comportamentais.

Os alunos revelam uma perceção generalizada da gravidade da acidificação dos oceanos e de outros fenómenos relacionados, embora nem sempre acompanhada de justificações cientificamente rigorosas. Todos os alunos reconhecem os efeitos ambientais, económicos e sociais, evidenciando uma compreensão global das consequências, onde as citações mais representativas foram:

*Sim, eu acho que a acidificação dos oceanos é muito grave até porque, além de afetar a economia, porque as populações costeiras precisam de peixe e tudo mais (...) também afeta o turismo e a biodiversidade por causa dos habitats destruídos e os corais. (A5)*

*Acho que podem afetar a fauna e flora de inúmeros ecossistemas (...) e mesmo a corrosão de estruturas. (A9)*

Já na pergunta 4, vários alunos referiram que o trabalho realizado os levou a refletir sobre o seu papel enquanto cidadãos, destacando mudanças de perspetiva e intenções de modificar comportamentos:

*Penso em mudar sim, depois de ouvir nas aulas os problemas que isso pode fazer num futuro. (A7)*

*Eu era do grupo da economia e (...) nunca tinha parado para pensar (...) o quanto era afetada (...) acho que cabe a cada um de nós, cidadãos, resolver isso e pretendo mudar alguns hábitos. (A5)*

A reflexão dos alunos também revelou uma diversidade de perspetivas quanto à responsabilidade da ação ambiental, oscilando entre o papel individual e o institucional:

*Devia partir de nós e não de outros exteriores como o governo. (A4)*

*Acho que o problema principal são as grandes empresas e os multimilionários que potencializam isso. (A9)*

Estas respostas demonstram que os alunos não só adquiriram conhecimento como também desenvolveram consciência crítica e uma postura cívica mais ativa, o que está em linha com os objetivos da abordagem CTSA, promovendo uma literacia científica socialmente responsável e ativa.

### 5.2.3. Categoria C — Relação com a abordagem CTSA: ciência contextualizada e interdisciplinaridade (P5, P6, P7 e P8)

Os testemunhos dos alunos convergem em dois aspetos complementares, a pertinência da Química quando aplicada em problemas reais e a riqueza de articular perspetivas de várias disciplinas.

Quando foi pedido aos alunos que comentassem a abordagem CTSA, todos sublinharam que o contacto com casos concretos transformou a disciplina numa ferramenta útil para interpretar o mundo, destacando-se o seguinte testemunho:

*Usámos um exemplo prático (...) a água de uma mina; é mais fácil compreender (...) do que simplesmente dizer a teoria (A1).*

Outros acrescentaram que essa contextualização lhes mostrou a utilidade do que aprendem:

*Muitas vezes não temos noção do quanto aquilo que damos na escola se aplica na realidade (...) assim percebemos que (...) acaba por ter um sentido realista (A5).*

Ao perceberem a aplicação direta dos conceitos (formação de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  e consequente ionização e descida de pH, neutralização com bases, etc.), os alunos referem ter desenvolvido competências que ultrapassam o domínio conceptual, nomeadamente como o pensamento crítico, a sensibilização ambiental e a capacidade de colaboração:

*Sempre que há oportunidade de ver como a Química se aplica noutros contextos é mais prático e acaba por desenvolver mais competências (A9).*

A mesma ideia de utilidade foi reforçada quando o tema passou a ser discutido numa perspetiva interdisciplinar onde, especificamente no debate, os alunos cruzaram argumentos de Biologia, Química, Social e Economia para avaliar os impactos ecológicos e socioeconómicos da acidificação. A2 resume esse ganho:

*Percebi qual era a gravidade da situação, uma vez que juntava todas essas disciplinas.*

Para A4, a integração *ajuda-me a interligar as diferentes disciplinas para resolver um problema só*, e A7 sublinha que *combinar disciplinas (...) dá para ter mais conhecimento e abrir mais o pensamento*. Esta experiência colaborativa não só consolidou conteúdos, como também melhorou a capacidade de argumentar e de ver a ciência como parte de um sistema maior: ciência-tecnologia-sociedade-ambiente.

Assim, a contextualização CTSA e a interdisciplinaridade funcionaram em sinergia, uma vez que, enquanto a primeira deu significado concreto aos conceitos de ácido-base, a segunda alargou o enquadramento, permitindo aos alunos compreender as múltiplas facetas de um mesmo fenómeno. O resultado foi uma aprendizagem mais profunda, motivadora e reforçada por competências transversais, que é exatamente o objetivo central delineado para este projeto.

#### 5.2.4. Categoria D — Experiência pedagógica e motivação (P9, P10 e P11)

Esta categoria analisa as perceções dos alunos sobre as atividades realizadas ao longo do projeto e as suas preferências pela abordagem CTSA. As respostas evidenciam que as atividades mais valorizadas foram a experiência laboratorial de neutralização da água

ácida simulada de uma mina e o debate interdisciplinar, pelas suas características práticas, colaborativas e pela ligação a contextos reais.

A atividade laboratorial destacou-se por permitir um envolvimento direto com o fenómeno, facilitando a compreensão e retenção dos conteúdos.

*Acho que foi a atividade laboratorial (...) medindo o pH e fazendo a monitorização e tudo mais. Foi a que mais me fez entender. (A8)*

*Ao estar a manusear e ao ter um contacto mais próximo, eu consegui perceber melhor. (A7)*

O debate, por sua vez, foi valorizado pela oportunidade de integrar e discutir diferentes perspetivas, utilizando linguagem acessível:

*Já foi depois de termos ideia prévia do assunto (...) várias pessoas a explicar de maneira diferente e usar palavras mais fáceis (...) foi um resumo bom do que tivemos a dar nas aulas. (A1)*

Em contraste, a atividade considerada menos motivadora foi a leitura da notícia adaptada, não por falta de relevância, mas pela fraca predisposição dos alunos para a leitura como prática individual.

*Gosto mais de experimentar (...), se eu tiver uma experiência por trás ou uma coisa que tem a ver com o mundo é mais relevante. (A3)*

*Eu odeio ler textos (...), mas não retirava, foi igualmente importante. (A5)*

*Não gosto muito de ler, mas sei que é importante (...). Sem a leitura da notícia não ia conseguir fazer a ligação. (A8)*

No que diz respeito à abordagem CTSA, a maioria dos alunos expressou preferência por este tipo de aulas, apontando como vantagens o realismo, a possibilidade de aplicar conhecimentos e o incentivo à participação.

*Gosto mais das aulas não tradicionais (...) consigo fazer uma conexão com os problemas. (A3). A5 acrescentou: Dá oportunidade aos alunos de pesquisarem e debaterem (...) torna tudo muito mais realista.*

No entanto, alguns alunos revelaram preferência pelas aulas mais tradicionais, especialmente em anos com exame nacional.

*Para ser sincero, prefiro aulas mais tradicionais. (A2)*

*Gostei, aprendi bastante (...) mas penso muito no exame. Este tipo de ensino precisa de algumas modificações do sistema educacional (...) faria mais sentido aplicar em anos que não sejam de exame. (A9)*

Outros alunos destacaram a importância de um equilíbrio entre métodos, reconhecendo vantagens em ambos:

*Prefiro mais um complemento entre os dois (...) a parte prática é essencial para perceber como funciona na vida real. (A6).*

De forma geral, os alunos demonstraram estar mais motivados e envolvidos com a abordagem CTSA, destacando o papel da contextualização, da prática e do trabalho colaborativo na compreensão dos conteúdos.

A preferência por aulas tradicionais manifesta-se sobretudo por parte de alunos com maior foco no exame nacional, o que reflete uma tensão entre inovação pedagógica e exigências do sistema educativo. Apesar disso, os testemunhos revelam reconhecimento do valor formativo da abordagem CTSA, mesmo por quem prefere métodos mais clássicos.

Este equilíbrio de perspetivas aponta para a necessidade de diversificação metodológica, oferecendo aos alunos experiências distintas e complementares que promovam simultaneamente a compreensão conceptual e o pensamento crítico.

No geral, os alunos demonstraram uma atitude reflexiva e madura, sabendo distinguir entre preferência pessoal e importância pedagógica, o que revela também uma boa compreensão dos objetivos do projeto.

#### 5.2.5. Categoria E – Impacte pessoal e futuro (P12 e P13)

A análise das respostas dos alunos no âmbito desta categoria revela uma perceção muito positiva sobre a abordagem utilizada ao longo do projeto. De forma praticamente unânime, os alunos consideraram que seria extremamente benéfico implementar projetos semelhantes durante o percurso escolar, não apenas por permitirem a compreensão mais profunda dos conteúdos, mas também porque contribuem para o desenvolvimento de competências importantes, como o pensamento crítico, a capacidade de pesquisa, o debate fundamentado e a consciencialização ambiental.

Esta valorização estende-se à forma como os conteúdos foram integrados com problemas do mundo real, o que, segundo os alunos, proporcionou um maior envolvimento e uma melhor aprendizagem. Um dos testemunhos mais reveladores nesse sentido foi o de um aluno que expressou que a escola, muitas vezes, se foca

excessivamente nas notas e nos exames, e que este tipo de abordagem permite ir além disso, proporcionando uma ligação concreta com a realidade:

*A escola devia dar educação ambiental (...) porque muitas vezes nós alunos estamos preocupados com as notas, com as médias (...) estas coisas são importantes para nos consciencializar e para nos ajudar a perceber o mundo realista e a relação entre matérias e a vida real (A5).* Esta visão foi corroborada por vários colegas, que apontaram que o projeto os ajudou a *disfrutar mais a aprender (A7)*, e que atividades como esta mostram finalmente *para que serve (A9)* aquilo que aprendem na escola.

A dimensão formativa da abordagem foi também destacada, não apenas na aquisição de conhecimentos, mas sobretudo no desenvolvimento de competências transversais. Um aluno salientou que para além dos conteúdos, foi possível desenvolver *habilidades de comunicação, de pesquisa, de elaboração de experiências, debates, pósteres (A8)*. A própria integração entre diferentes disciplinas foi apontada como um fator enriquecedor, que favorece uma visão mais holística dos problemas.

Apesar do entusiasmo geral, os alunos fizeram algumas sugestões construtivas que apontam para aspetos logísticos a melhorar. As principais críticas referem-se ao número de elementos por grupo durante a atividade laboratorial e ao tempo disponível para o debate.

*Não acrescentava nem tirava nada, mas melhorava se a experiência fosse em grupos menores (A4),*

*Se tivéssemos mais tempo também teríamos mais temas para debater (A5).*

### 5.3. Análise comparativa com a literatura educacional

Os resultados obtidos ao longo do projeto confirmam as potencialidades da abordagem CTSA já evidenciadas na literatura educacional. À semelhança dos estudos de Carvalhosa (2015) e Priyambodo et al. (2021), foi possível constatar que a articulação entre conteúdos científicos e problemáticas ambientais e sociais contribuiu para uma compreensão mais profunda dos conceitos ácido-base, promovendo simultaneamente o envolvimento dos alunos e o desenvolvimento de competências transversais.

A melhoria dos resultados nos testes de consciencialização ambiental e o ganho conceptual identificado através do cálculo do ganho de *Hake* demonstram um progresso significativo tanto a nível cognitivo como atitudinal. Estes dados convergem com as conclusões de Ültay e Çalik (2016), que destacam o impacto positivo da abordagem CTSA na retenção do conhecimento e na sua aplicação em novos contextos.

As entrevistas evidenciaram que os alunos atribuíram maior significado à disciplina de Química quando esta foi explorada em ligação com questões do mundo real. Esta perceção está em sintonia com os trabalhos de Ayres-Pereira et al. (2024) e Giffoni et al. (2020), que sublinham o papel desta abordagem na construção de uma aprendizagem mais relevante e mobilizadora.

Por fim, os testemunhos dos alunos apontam ainda para o desenvolvimento de competências como o pensamento crítico, a consciência ambiental e a capacidade de argumentação e colaboração, tal como descrito em estudos anteriores (Araújo & Sampaio, 2022; Jiménez-Liso, 2020). Estes resultados reforçam a pertinência de integrar a abordagem CTSA no ensino da Química, contribuindo para uma formação científica mais contextualizada, crítica e cidadã.

## 6. Conclusões e considerações finais

### 6.1. Conclusões e considerações finais

O estudo teve como finalidade avaliar o impacto de uma sequência didática baseada na abordagem CTSA no ensino das reações ácido-base a uma turma de 11.º ano ( $n = 17$ ). A intervenção combinou atividades experimentais, debate interdisciplinar e produção de um póster científico, procurando articular conceitos químicos com problemáticas socioambientais. Os resultados obtidos, quantitativos e qualitativos, permitem obter indicadores para responder aos objetivos definidos.

A comparação entre o pré-teste e o pós-teste ( $n = 13$ ) revelou progressos claros, uma vez que cinco das onze questões conceptuais apresentaram ganhos normalizados de *Hake* elevados ( $g \geq 0,70$ ), com destaque para Q10 ( $g = 0,92$ ), Q3 ( $g = 0,86$ ), Q9 ( $g = 0,85$ ) e Q7 ( $g = 0,81$ ) e seis questões evidenciaram ganhos intermédios ( $0,30 \leq g < 0,70$ ), onde apenas a Q8 registou um ganho mais reduzido ( $g = 0,31$ ). Globalmente, os resultados quantitativos indicam uma melhoria na compreensão dos processos de neutralização, das reações ácido-base e as suas implicações ambientais.

Adicionalmente, nas entrevistas ( $n = 10$ ) os alunos demonstraram capacidade para transferir os conceitos químicos para situações reais, propondo estratégias viáveis de mitigação da acidificação dos oceanos e de neutralização de águas ácidas, o que corrobora os ganhos conceptuais evidenciados anteriormente.

A escala de *Likert* integrada no teste mostrou uma evolução positiva no nível global de preocupação ambiental, uma vez que a categoria “muito baixa” desapareceu no pós-teste, enquanto surgiram dois casos (15% dos alunos) de “alta” preocupação. As entrevistas confirmam esta tendência, onde os alunos referiram mudanças de hábitos pessoais e uma maior sensibilidade às responsabilidades cívicas associadas à poluição química.

Oito dos dez alunos entrevistados expressaram preferência clara pela abordagem CTSA face ao ensino mais expositivo, valorizando o carácter prático, a ligação a problemas atuais e a integração de perspetivas de Química, Biologia e Social/Económico. Dois alunos revelaram preferência por um equilíbrio entre métodos, sobretudo devido às exigências do exame nacional. Ainda assim, mesmo estes reconheceram o contributo do projeto para a motivação e para a compreensão dos conteúdos.

Em suma, a convergência entre evidências quantitativas (ganhos elevados de *Hake*, evolução na escala de preocupação ambiental) e qualitativas (testemunhos dos alunos) proporciona indicadores positivos de que a abordagem CTSA reforça a aprendizagem conceptual de reações ácido-base, potencia a aplicação do conhecimento científico a problemas socioambientais, promove atitudes de cidadania responsável e pensamento crítico e aumenta a motivação e o envolvimento dos alunos em atividades de Química, validando a eficácia pedagógica da estratégia implementada.

## 6.2. Significância da investigação e suas implicações para a Educação em Química e em Ciências

Este estudo reforça a relevância da abordagem CTSA como eficaz na promoção de uma educação em Química mais contextualizada, interdisciplinar e socialmente significativa. Ao integrar problemáticas ambientais reais, como a acidificação dos oceanos e a contaminação por águas ácidas, com os conteúdos curriculares de reações ácido-base, a investigação corrobora que é possível transformar o ensino da Química num processo mais motivador, reflexivo e formativo.

Os resultados obtidos evidenciam que os alunos não apenas consolidaram os seus conhecimentos conceptuais, mas também desenvolveram competências essenciais para a cidadania científica, como o pensamento crítico, a capacidade de argumentação, a sensibilidade ambiental e a colaboração entre pares. Esta investigação contribui, assim, para o corpo de evidência que defende uma renovação das práticas letivas, centrando a aprendizagem na resolução de problemas reais e no envolvimento ativo dos estudantes.

Para a Educação em Ciências, este trabalho sugere que a adoção sistemática de abordagens interdisciplinares e centradas no aluno pode promover aprendizagens mais significativas e duradouras, com impacto direto na formação de cidadãos conscientes e preparados para enfrentar os desafios socioambientais contemporâneos. As implicações pedagógicas apontam para a importância de diversificar metodologias e promover ambientes de aprendizagem que articulem ciência, tecnologia e sociedade de forma crítica e comprometida.

## 7. Reflexão autocrítica e projetos futuros

A realização deste trabalho constituiu, simultaneamente, um desafio e uma oportunidade de crescimento pessoal e profissional. A conceção, implementação e avaliação de uma intervenção didática centrada na abordagem CTSA revelou-se uma experiência enriquecedora, permitindo explorar um modelo de ensino mais contextualizado, interdisciplinar e promotor de competências científicas e cívicas. A pertinência do trabalho tornou-se evidente ao longo da intervenção: por um lado, os temas selecionados (chuvas ácidas, acidificação dos oceanos, drenagem ácida de minas) geraram elevado interesse e envolvimento por parte dos alunos; por outro, também para o professor, foi motivador desenvolver uma sequência de atividades que rompe com a linearidade do currículo tradicional e valorizam a ligação entre a Química e os grandes desafios da atualidade.

No entanto, esta abordagem revelou-se exigente do ponto de vista da gestão do tempo. A implementação de atividades práticas, debates, análise de dados e momentos de reflexão implicou uma maior carga letiva e um investimento considerável na planificação e acompanhamento das tarefas. Esta exigência torna-se particularmente relevante num ano letivo como o 11.º, em que os alunos enfrentam um programa curricular extenso e se preparam para o exame nacional. Assim, a replicação desta metodologia em contextos reais de ensino deverá ter em conta os constrangimentos temporais e o equilíbrio entre inovação pedagógica e cumprimento dos objetivos programáticos.

No plano metodológico, uma das limitações mais significativas prendeu-se com a constituição da amostra. A participação dos alunos na avaliação da metodologia exigia, por questões éticas e de validade dos dados, a frequência completa de todas as atividades desenvolvidas. No entanto, a turma em causa era já numericamente reduzida e, devido a problemas de assiduidade, o número de participantes efetivos nas entrevistas e no pré/pós-teste foi limitado. Esta limitação impediu uma análise mais robusta e representativa dos efeitos da intervenção.

Para investigações futuras, seria pertinente alargar o estudo a um maior número de participantes e com diferentes contextos escolares nomeadamente escolas com diferentes características (rurais vs urbanas, públicas vs privadas, etc.), turmas com diferentes perfis e ainda diferentes anos de escolaridade, permitindo uma análise mais representativa dos efeitos da abordagem CTSA. Para além disso, seria importante explorar formas de integrar a contextualização de modo equilibrado, conciliando o ensino baseado em problemas reais com as exigências do programa curricular.

## 8. Referências Bibliográficas

- Araújo, F., & Sampaio, C. (2022). Formação continuada de professores em ensino de química à luz da abordagem CTSA: uma análise bibliográfica. *Research, Society and Development*, 11, e21111931844. <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i9.31844>
- Ayres-Pereira, T. I., Marcondes, M. E. R., & do Carmo, M. P. (2024). The conceptions expressed by a chemistry teacher about STSE teaching in the development of a teaching sequence.
- Bardin, L. (2013). *Análise de Conteúdo*.
- Barke, H.-D. (2023). Broensted Acids and Bases: History, Misconception, and Application Today. *ASEAN Journal for Science Education*, 2(1), 23-32.
- Bloom, B. S., & Krathwohl, D. R. (1969). *Taxonomy of Educational Objectives: The Classification of Educational Goals*. David McKay. <https://books.google.pt/books?id=VhScAAAAMAAJ>
- Carvalhosa, I. (2015). Aprendizagem do tema ácidos e bases através de uma abordagem CTSA.
- Chang, R. (2007). *Chemistry*. McGraw-Hill Higher Education. <https://books.google.pt/books?id=nvU5GgAACAAJ>
- Chougule, M. S. K. a. S. S. (2022). Evolution of Acid-Base Theories: From Historical Roots to Present Approaches and their Everyday Applications. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology* 2(3).
- DGE. (2018a). *Aprendizagens Essenciais 10º ano Ensino Secundário Biologia e Geologia*.
- DGE. (2018b). *Aprendizagens Essenciais 11º ano Ensino Secundário Física e Química A*.
- Diane Pereira, E., Marciniuk, L. L., Pricinotto, G., Crespan, E. d. R., & Soares, S. S. (2021). Biodiesel: uma proposta reflexiva no Ensino de Química sob a perspectiva CTSA / Biodiesel: a reflective proposal in Chemistry teaching under a science, technology, society and environment (STSE) perspective. *Brazilian Journal of Development*, 7(4), 34113-34128. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n4-051>
- Doney, S. C., Busch, D. S., Cooley, S. R., & Kroeker, K. J. (2020). The Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Reliant Human Communities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45(Volume 45, 2020), 83-112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>
- Estratégia Nacional de Educação para a Cidadania, (2016).
- Perfil dos Alunos à Saída da Escolaridade Obrigatória, (2017a).
- Referencial de Educação Ambiental para a Sustentabilidade, (2017b).
- Eknoyan, G. (2022). Acid–base homeostasis: a historical inquiry of its origins and conceptual evolution. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 37(10), 1816-1823. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfac014>
- Figueiredo, M. C., & Mendes, M. (2023). CTSA no programa de residência pedagógica em química: subsídios formativos à docência. *Holos (Natal, RN)*, 2023(1), 1.
- Giffoni, J. d. S., Barroso, M. C. d. S., & Sampaio, C. d. G. (2020). Significant learning in Chemistry teaching: a science, technology and society approach. *Research, Society and Development*, 9(6), e13963416. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i6.3416>
- Grennfelt, P., Engleryd, A., Forsius, M., Hov, Ø., Rodhe, H., & Cowling, E. (2020). Acid rain and air pollution: 50 years of progress in environmental science and policy. *Ambio*, 49(4), 849-864. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01244-4>
- Gurgen, G. (2017). Impact of acid precipitation on historical monuments and statues. *Global Journal of Arts Education*, 7, 2. <https://doi.org/10.18844/gjae.v7i1.1829>

- Hake, R. (1998). Interactive-Engagement Versus Traditional Methods: A Six-Thousand-Student Survey of Mechanics Test Data for Introductory Physics Courses. *American Journal of Physics - AMER J PHYS*, 66. <https://doi.org/10.1119/1.18809>
- Hulanicki, A., & Głab, S. (2005). Buffer solutions. In P. Worsfold, A. Townshend, & C. Poole (Eds.), *Encyclopedia of Analytical Science (Second Edition)* (pp. 300-304). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-369397-7/00048-0>
- Ibrahim, M. H., Kasim, S., Ahmed, O. H., Mohd. Rakib, M. R., Hasbullah, N. A., & Islam Shajib, M. T. (2024). Impact of simulated acid rain on chemical properties of Nyalau series soil and its leachate. *Scientific Reports*, 14(1), 3534. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-52758-1>
- Jia, R., Yin, M., Feng, X., Chen, C., Qu, C., Liu, L., Li, P., & Li, Z.-H. (2024). Ocean acidification alters shellfish-algae nutritional value and delivery. *Science of The Total Environment*, 918, 170841. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170841>
- Jiménez-Liso, M. L.-B., L; Dillon, J. (2020). Changing how we teach acid-base chemistry: a proposal grounded in studies of the history and nature of science education. *Science and Education*.
- Jiménez-Liso, M. R., López-Banet, L., & Dillon, J. (2020). Changing How We Teach Acid-Base Chemistry: A Proposal Grounded in Studies of the History and Nature of Science Education. *Sci Educ (Dordr)*, 29(5), 1291-1315. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00142-6>
- Lesney, M. S. (2003). A Basic History of Acid-From Aristotle to Arnold. *Chemistry Chronicles*.
- MacLeod, K. (2015). Science, technology, society, and environment (STSE) and pre-service physics teacher education: Lessons for physics and education faculty. *AIP Conference Proceedings*, 1697(1), 120007. <https://doi.org/10.1063/1.4937712>
- Martins, F. (2009). *Desenvolvimento e implementação de uma abordagem CTSA do conceito de acidez no ensino da física e química* Universidade de Évora.].
- Meenakshipriya, B., Saravanan, K., R, S., & S, S. (2009). Study of pH System in Common Effluent Treatment Plant. *Modern Applied Science*, 2. <https://doi.org/10.5539/mas.v2n4p113>
- Mohajan, H. (2019). Acid Rain is a Local Environment Pollution but Global Concern. 3, 47-55.
- Moura Souza, F. d., & Aricó, E. M. (2017). Mapa cronológico da evolução das definições ácido-base: um potencial material de apoio didático para contextualização histórica no ensino de química. *Educación Química*, 28(1), 2-10. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eq.2016.09.002>
- Nuray Yörük, I. M., Nilgün Seçken. (2010). The effects of science, technology, society, environment (STSE) interactions on teaching chemistry. *Natural Science*, 2(12), 1417-1424.
- Paiva, J., Matos, M., & Morais, C. F., C. (2022). 11Q - Física e Química A 11.º ano.
- Palmer, R. (2024). *Acid-Base Chemistry*. <https://www.pasco.com/resources/articles/acid-base-chemistry?srsId=AfmBOOp44OOduRfFUaYWKQGLBMEEKxQS6TQ0VDAepJi7V7C20CPBU0t>
- Pedretti, E. (2003). Teaching Science, Technology, Society and Environment (STSE) Education. In D. L. Zeidler (Ed.), *The Role of Moral Reasoning on Socioscientific Issues and Discourse in Science Education* (pp. 219-239). Springer Netherlands. [https://doi.org/10.1007/1-4020-4996-X\\_12](https://doi.org/10.1007/1-4020-4996-X_12)
- Pedretti, E., & Bellomo, K. (2013). A Time for Change: Advocating for STSE Education Through Professional Learning Communities. *Canadian Journal of Science*,

- Mathematics and Technology Education*, 13(4), 415-437. <https://doi.org/10.1080/14926156.2012.679996>
- Pedretti, E., & Nazir, J. (2011). Currents in STSE Education: Mapping a Complex Field, 40 Years On. *Science Education*, 95, 601-626. <https://doi.org/10.1002/sce.20435>
- Pedretti, E. G., Bencze, L., Hewitt, J., Romkey, L., & Jivraj, A. (2008). Promoting Issues-based STSE Perspectives in Science Teacher Education: Problems of Identity and Ideology. *Science & Education*, 17(8), 941-960. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9060-8>
- Priyambodo, E., Fitriyana, N., Primastuti, M., & Aquarisco, F. (2021). *The Role of Collaborative Learning Based STSE in Acid Base Chemistry: Effects on Students' Motivation*. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210305.037>
- Sharma, S., & Ahmed, M. M. (2023). Application of modified water treatment residuals in water and wastewater treatment: A review. *Heliyon*, 9(5), e15796. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15796>
- Sharp, J. D., Jiang, L.-Q., Carter, B. R., Lavin, P. D., Yoo, H., & Cross, S. L. (2024). A mapped dataset of surface ocean acidification indicators in large marine ecosystems of the United States. *Scientific Data*, 11(1), 715. <https://doi.org/10.1038/s41597-024-03530-7>
- Silva, F. (2020). As abordagens CTS/CTSA e alguns desafios atuais do ensino de ciências. In (pp. 11).
- Smith, M. B. (2022). *Organic Chemistry: An Acid-Base Approach* (Third Edition (3rd ed.) ed.).
- Stewart, J. A., Williams, B., LaVigne, M., Wanamaker, A. D., Strong, A. L., Jellison, B., Whitney, N. M., Thatcher, D. L., Robinson, L. F., Halfar, J., & Adey, W. (2025). Delayed onset of ocean acidification in the Gulf of Maine. *Sci Rep*, 15(1), 2039. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-84537-3>
- Story, D. A. (2004). Bench-to-bedside review: a brief history of clinical acid-base. *Crit Care*, 8(4), 253-258. <https://doi.org/10.1186/cc2861>
- Subirats, X., Rosés, M., & Bosch, E. (2015). Buffers for Reversed-Phase Liquid Chromatography☆. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.11547-1>
- Towns, M. H. (2008). Mixed Methods Designs in Chemical Education Research. In *Nuts and Bolts of Chemical Education Research* (Vol. 976, pp. 135-148). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-2008-0976.ch009>
- Ültay, N., & Çalik, M. (2016). A Comparison of Different Teaching Designs of 'Acids and Bases' Subject. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 12, 57-86. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1422a>
- Zhang, L., Wang, J., Wang, S., Wang, C., Yang, F., & Li, T. (2024). Chemical characteristics of long-term acid rain and its impact on lake water chemistry: A case study in Southwest China. *Journal of Environmental Sciences*, 138, 121-131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jes.2023.03.028>
- Zhang, Y., Li, S., Fan, S., Wu, Y., Hu, H., Feng, Z., Huang, Z., Liang, J., & Qin, Y. (2021). A stepwise processing strategy for treating highly acidic wastewater and comprehensive utilization of the products derived from different treating steps. *Chemosphere*, 280, 130646. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130646>

## Anexos

Os anexos encontram-se disponíveis na hiperligação:

[https://drive.google.com/file/d/1RqOCua6Y-N4PXsXA-J8th\\_Y3WanSVcE8/view?usp=sharing](https://drive.google.com/file/d/1RqOCua6Y-N4PXsXA-J8th_Y3WanSVcE8/view?usp=sharing)

O índice dos anexos, é o seguinte:

### Índice de Anexos

|                                                                                                         |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Anexo 1 - Chuva Ácida: Um Problema Global que Afeta a Europa e Portugal.....                            | 1  |
| Anexo 2 – Relatório orientado da Atividade laboratorial “Neutralização da água ácida de uma mina” ..... | 3  |
| Anexo 3 – Pré e pós teste de consciencialização ambiental .....                                         | 4  |
| Anexo 4 – Entrevista e respetivas respostas .....                                                       | 7  |
| Anexo 5 – Consentimento informado.....                                                                  | 22 |