

Simulação experimental da acidificação dos oceanos: Um estudo com Arduino no 11.º ano de escolaridade

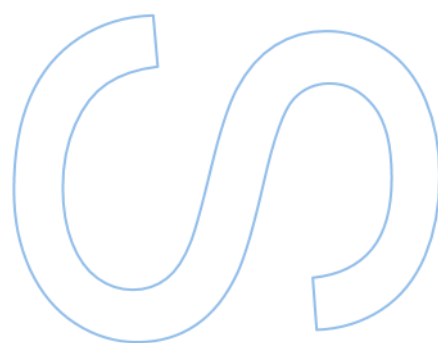
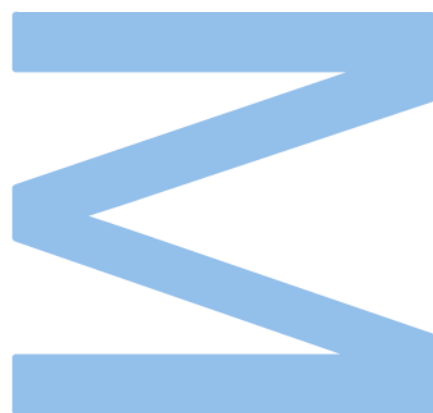
Cláudia Marina Mendes Lima Martins

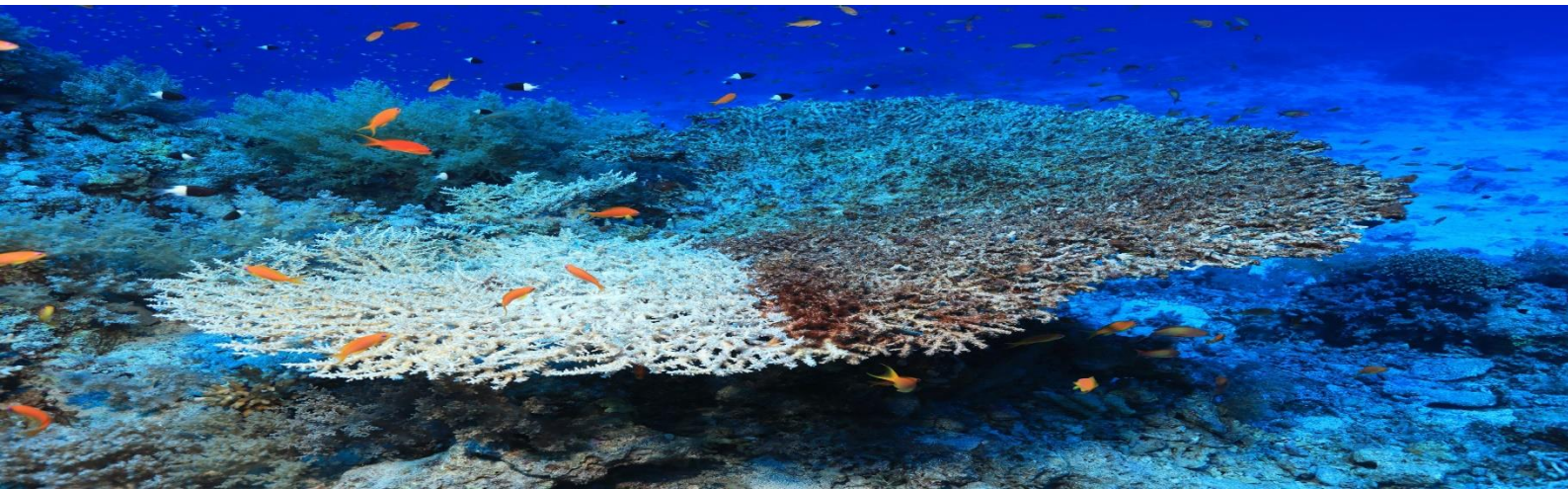
Mestrado em Ensino de Física e de Química no 3.º Ciclo do
Ensino Básico e no Ensino Secundário

Unidade de Ensino das Ciências

Faculdade de Ciências da Universidade do Porto

2025





Simulação experimental da acidificação dos oceanos: Um estudo com Arduino no 11.º ano de escolaridade

Cláudia Marina Mendes Lima Martins

Relatório de Estágio no âmbito do Mestrado em Ensino de
Física e de Química no 3.º ciclo no Ensino Básico e no
Ensino Secundário

Unidade de Ensino das Ciências
2025

Orientador

Carla Susana Lopes Morais, Professora Auxiliar com Agregação,
Unidade de Ensino das Ciências, Faculdade de Ciências da
Universidade do Porto

Dedico este trabalho às “Leonores” que habitam no meu coração.

Agradecimentos

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, à professora cooperante Dulce Peixoto, pela forma como me acolheu e acompanhou ao longo deste estágio. A sua disponibilidade, partilhas e conselhos foram fundamentais para o meu crescimento enquanto futura professora.

Quero expressar a minha gratidão à professora Carla Morais, pela forma dedicada como acompanhou este percurso. A sua atenção, prontidão e disponibilidade constantes foram sempre uma base de apoio e tranquilidade.

Um agradecimento especial à professora Cidália André pela paciência, compreensão, perseverança e companheirismo que teve durante a nossa jornada na FCUP no desenvolvimento da atividade.

Um agradecimento também especial aos alunos com quem tive o privilégio de trabalhar. Foram eles que deram sentido a tudo o que fui aprendendo e colocando em prática. A sua energia, generosidade e curiosidade ensinaram-me muito mais do que eu alguma vez imaginei.

Não posso deixar de mencionar os meus colegas de faculdade, que fizeram parte deste percurso de forma única. A cada um, agradeço pela partilha, pelo companheirismo e pelos momentos descontraídos que contribuíram para o meu crescimento pessoal e profissional. Gostaria de deixar um agradecimento muito especial às colegas Carina Novais e Dulce Loureiro. Ao longo deste percurso, foram muito mais do que colegas de curso. A sua presença fez realmente a diferença nos dias bons, mas sobretudo nos mais difíceis, e foram muitos...Foi ao lado delas que muitos momentos se tornaram mais leves, e outros, memoráveis! Ficarão para sempre guardadas no meu coração.

Por fim, à minha família, obrigada pela paciência, pelo apoio incondicional e por nunca me deixarem desistir, mesmo nos dias mais difíceis.

E agora, sim... chega o momento de um agradecimento muito especial. Ao meu marido, por ter embarcado comigo nesta “aventura” sem hesitar, sem julgamentos, só com apoio, paciência e amor. Obrigada por estares sempre ao meu lado. Seguimos juntos.

Obrigada a todos!

Resumo

A proposta pedagógica apresentada neste trabalho enquadra-se numa investigação em Química Educacional, centrada nos conteúdos de ácido-base e na problemática da acidificação dos oceanos. Este fenómeno resulta da crescente absorção de dióxido de carbono atmosférico pelas águas do mar, levando à diminuição progressiva do pH e colocando em risco vários organismos marinhos. Compreender este processo exige não só o conhecimento dos conceitos químicos envolvidos, mas também a capacidade de os relacionar com situações reais e desafios ambientais concretos. Neste contexto, a Química assume um papel relevante na formação de uma cidadania mais consciente e crítica, ao permitir que os alunos desenvolvam competências para interpretar os problemas do presente e agir de forma informada, individual e coletivamente.

O estudo envolveu nove dos onze alunos de uma turma do 11.º ano da Escola Secundária Inês de Castro e seguiu uma abordagem metodológica de natureza predominantemente qualitativa. A experiência pedagógica consistiu na realização de uma atividade experimental sobre a acidificação dos oceanos, na qual os alunos utilizaram sensores de pH e de pressão conectados a um microcontrolador Arduino para monitorizar, em tempo real, as alterações químicas resultantes da dissolução de dióxido de carbono na água. Esta abordagem permitiu articular conceitos teóricos com uma problemática ambiental atual, integrando o uso de tecnologia e promovendo uma aprendizagem mais ativa e contextualizada. Para a recolha de dados, foram aplicados, numa fase inicial, um teste de conhecimentos e um questionário de consciencialização ambiental, ambos em formato de pré-teste. Após a leção do conteúdo e da realização da atividade experimental voltaram-se a aplicar os mesmos instrumentos de recolha de dados para avaliar a evolução dos alunos, tanto em termos de conhecimento como de atitudes. Foram realizadas entrevistas que, permitiram interpretar melhor os resultados obtidos. Verificou-se uma melhoria nas classificações e uma maior consciencialização sobre a questão ambiental problematizada. Os dados obtidos mostram que a utilização de metodologias ativas, aliadas ao uso do Arduino contribuem para a aprendizagem dos alunos de forma próxima com a realidade estimulando desenvolvimentos de saberes científicos e a construção de uma postura cidadã mais consciente e participativa.

Palavras-chave: Ácido-base, Metodologia qualitativa, Acidificação dos oceanos, Consciencialização ambiental, Arduino.

Abstract

The pedagogical approach presented in this work is part of a study in Chemistry Education, focused on acid-base content and the issue of ocean acidification. This phenomenon results from the increasing absorption of atmospheric carbon dioxide by seawater, leading to a gradual decrease in pH and putting various marine organisms at risk. Understanding this process requires not only knowledge of the underlying chemical concepts, but also the ability to relate them to real-life situations and concrete environmental challenges. In this context, Chemistry plays an important role in shaping a more informed and critical citizenship, by enabling students to develop the skills needed to interpret current problems and to act in an informed manner, both individually and collectively.

The study involved nine out of eleven students from an 11th grade class at Inês de Castro Secondary School and adopted a predominantly qualitative methodological approach. The pedagogical experience consisted of an experimental activity on ocean acidification, in which students used pH and pressure sensors connected to an Arduino microcontroller to monitor, in real time, the chemical changes resulting from the dissolution of carbon dioxide in water. This approach made it possible to connect theoretical concepts with a current environmental issue, integrating the use of technology and promoting a more active and contextualized learning experience. To collect data, a knowledge test and an environmental awareness questionnaire were administered in a pre-test format. After the teaching session and the completion of the experimental activity, the same instruments were reapplied to assess students progress in terms of both conceptual understanding and attitudes. Semi-structured interviews were also conducted, allowing for a deeper interpretation of the results obtained. The findings revealed an improvement in students test performance and a greater awareness of the environmental issue under study. The data suggest that the use of active methodologies, combined with Arduino technology, contributes to meaningful student learning, closely connected to real-world contexts, while also fostering the development of scientific knowledge and the construction of a more conscious and participatory civic attitude.

Keywords: Acid–base, Qualitative methodology, Ocean acidification, Environmental awareness, Arduino.

Índice

Lista de Tabelas	vi
Lista de Gráficos	vii
Lista de Abreviaturas	viii
Introdução	1
1. Dossier de Estágio: Apresentação sintética	2
2. Enquadramento teórico	3
2.1. Enquadramento científico do tema ácido-base	4
2.1.1. Ácidos e bases de Brønsted e Lowry	4
2.2. Enquadramento de investigação educacional do tema ácido-base.....	7
2.2.1. Ensino do tema ácido-base e aprendizagem experimental	8
2.2.2. Tecnologias digitais no ensino da Química	8
2.2.3. Acidificação dos oceanos como tema relevante	9
3. Enquadramento didático-curricular	9
4. Ensaio investigativo em Educação em Química	10
4.1. Objetivos do estudo	10
4.2. Caracterização do estudo e metodologia utilizada	11
4.3. Descrição dos participantes	11
4.4. Descrição das estratégias de intervenção adotadas na investigação e do material desenvolvido	11
4.5. Técnicas e instrumentos de recolha de dados	13
4.6. Considerações sobre a recolha e o tratamento de dados	14
5. Apresentação e discussão de resultados	17
5.1. Questionário de consciencialização ambiental: Acidificação dos oceanos	17
5.2. Teste de conhecimentos ácido-base.....	20
5.3. Entrevistas efetuadas aos alunos	23
6. Conclusões e implicações da investigação	28

6.1.	Conclusões e considerações finais	28
6.2.	Significância da investigação e suas implicações para a educação em Química e em Ciências	30
7.	Reflexão autocrítica e projetos futuros	31
	Referências Bibliográficas	32
	Anexos	36

Lista de Tabelas

Tabela 1- Sequência temporal das tarefas nas diferentes fases da investigação.	14
Tabela 2- Categorização temática para análise das entrevistas.	16

Lista de Gráficos

Gráfico 1- Respostas dos alunos ao pré-questionário de consciencialização ambiental.	17
Gráfico 2- Respostas dos alunos ao pós-questionário de consciencialização ambiental.	17
Gráfico 3- Respostas dos alunos ao pré-teste de conhecimentos ácido-base.....	20
Gráfico 4- Respostas dos alunos ao pós-teste de conhecimentos ácido-base.....	21
Gráfico 5- Classificação em percentagem por questão do pré e pós-teste de conhecimentos ácido-base.....	22

Lista de Abreviaturas

AE	APRENDIZAGENS ESSENCIAIS
EE	ENCARREGADO DE EDUCAÇÃO
ESIC	ESCOLA SECUNDÁRIA INÊS DE CASTRO
FCUP	FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DO PORTO
IA	INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL
IPP	INICIAÇÃO À PRÁTICA PROFISSIONAL
MEFQ	MESTRADO EM ENSINO DE FÍSICA E DE QUÍMICA NO 3.º CICLO DO ENSINO BÁSICO E NO ENSINO SECUNDÁRIO
PASEO	PERFIL DOS ALUNOS À SAÍDA DA ESCOLARIDADE OBRIGATÓRIA
PES	PRÁTICA DE ENSINO SUPERVISIONADA
PPT	POWERPOINT
STEM	SCIENCE, TECHNOLOGY, ENGINEERING AND MATHEMATICS

Introdução

Este relatório foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Iniciação à Prática Profissional (IPP), integrada no 2.º ano do Mestrado em Ensino de Física e de Química do 3.º Ciclo do Ensino Básico e no Ensino Secundário (MEFQ), da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). No ensino básico e secundário, a disciplina de Físico-Química tem um papel importante no desenvolvimento da literacia científica, no estímulo do pensamento crítico e na valorização da ciência como forma de compreender melhor o mundo à nossa volta (Direção-Geral da Educação, 2018). Ainda assim, muitos dos conceitos trabalhados são bastante abstratos, o que pode dificultar, para alguns alunos, a ligação entre o que aprendem nas aulas e as situações do dia a dia ou os problemas reais que afetam o planeta. Perante este desafio, torna-se essencial explorar estratégias de ensino que aproximem os conteúdos científicos da realidade dos estudantes, promovendo aprendizagens mais significativas. A temática da acidificação dos oceanos, enquanto consequência direta do aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera permite ilustrar, de forma contextualizada, o conceito de equilíbrio químico e os seus efeitos em sistemas naturais, aproximando a química das questões ambientais contemporâneas.

O presente relatório de estágio, descreve o trabalho desenvolvido ao longo do ano letivo de 2024/2025, com uma turma do 11.º ano do Ensino Secundário. A investigação foi complementada por uma aula laboratorial realizada no Laboratório de Química Educacional da FCUP, onde foi feita uma simulação experimental da acidificação dos oceanos. Para essa simulação, recorreu-se à utilização de sensores ligados a um microcontrolador Arduino, que permitiu a monitorização em tempo real dos valores de pH e da pressão durante o processo de dissolução de dióxido de carbono em água. O Arduino, plataforma eletrónica baseada em hardware e software de código aberto, tem vindo a ganhar destaque no ensino das ciências pelo seu carácter acessível, versátil e promotor de aprendizagens ativas. Através da recolha automática de dados e da sua visualização imediata, o Arduino facilita a compreensão de fenómenos físico-químicos e permite aos alunos uma participação mais ativa no processo experimental.

Este relatório de estágio é constituído por esta introdução, à qual se seguem sete capítulos principais, as referências bibliográficas consultadas e um conjunto de anexos. O primeiro capítulo apresenta uma visão geral do Dossier de Estágio, elaborado no âmbito da Prática de Ensino Supervisionada (PES), incluindo os planos de aula, os

materiais pedagógicos utilizados e a descrição das atividades desenvolvidas ao longo dessa prática. Os capítulos dois e três centram-se, respetivamente, no enquadramento teórico e no enquadramento didático-curricular do estudo. No capítulo quatro, é descrito o percurso investigativo em educação em Química, com destaque para a metodologia adotada, caracterização dos participantes, estratégias implementadas e os instrumentos utilizados para a recolha e análise dos dados. O quinto capítulo expõe os principais resultados obtidos e respetiva discussão. O sexto capítulo apresenta as conclusões e as considerações finais do trabalho. O sétimo capítulo apresenta uma reflexão autocrítica sobre o percurso desenvolvido, incluindo também propostas para projetos futuros. A última parte do relatório reúne as referências bibliográficas consultadas e os anexos, que integram materiais complementares relevantes para a investigação realizada.

1. Dossier de Estágio: Apresentação sintética

O dossier de estágio¹ foi elaborado no âmbito da unidade curricular de Iniciação à Prática Profissional, na componente da Prática de Ensino Supervisionada, do MEFQ, da FCUP. Esta componente decorreu numa Escola Secundária, no ano letivo de 2024/2025. O núcleo de estágio foi constituído por mim, pela minha colega estagiária Mariana Almeida e pela orientadora cooperante que supervisionou o estágio. A Professora Doutora Carla Morais e o Professor Doutor Marcelo Hahn, docentes da FCUP, assistiram a duas aulas cada um, respetivamente, das componentes de Química e de Física, do 7.º e 11.º anos de escolaridade. O dossier de estágio inclui uma breve descrição da escola e das turmas envolvidas, bem como todos os materiais produzidos para as aulas, como planos de aula, diapositivos e fichas de trabalho. Estão também presentes os instrumentos de avaliação com os respetivos critérios e correções, o registo das reuniões e das atividades extracurriculares realizadas. O documento termina com uma reflexão crítica sobre todo o percurso desenvolvido ao longo do estágio.

¹ O dossier de estágio está disponível na hiperligação:

https://sigarra.up.pt/fcup/pt/conteudos_service.conteudos_cont?pct_id=700697&pv_co d=00jaBby8Nh1J

2. Enquadramento teórico

O tema dos ácidos e das bases é um dos pilares da Química e está presente na explicação de reações, fenómenos do dia a dia e processos biológicos (Beltran, 2024). Com o tempo, surgiram várias formas de os definir, sendo a de Brønsted e Lowry uma das mais aceites. Segundo esta teoria, um ácido é uma substância que dá protões e uma base é aquela que os recebe. Esta forma de abordar o conceito de ácido e base contribui para uma compreensão mais sólida de noções fundamentais, como os pares ácido-base conjugados, que envolvem a transferência reversível de protões entre espécies químicas, e a própria ideia de ionização, enquanto processo em que uma substância se dissocia em iões quando dissolvida em água.

Os ácidos e as bases não são apenas importantes do ponto de vista teórico têm também uma vasta aplicação prática. Estão presentes, por exemplo, na produção de medicamentos, em vários produtos de uso doméstico e até no controlo de processos industriais e biológicos. O pH é um indicador essencial para avaliar se uma solução é ácida ou básica, facilitando a sua classificação e o ajuste das condições necessárias para diversas reações químicas.

A acidificação dos oceanos é um bom exemplo de como os conceitos de ácido-base estão ligados a problemas ambientais reais. O aumento das emissões de dióxido de carbono leva à formação de ácido carbónico na água do mar, o que faz baixar o pH. O aumento da concentração de CO_2 dissolvido na água do mar conduz a uma alteração no equilíbrio do sistema carbonato, deslocando as reações de dissociação no sentido da formação de HCO_3^- . Este efeito, resultante do acréscimo de iões H^+ no meio, reduz a atividade dos iões CO_3^{2-} , limitando a sua disponibilidade para processos de precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), afetando também a biodiversidade dos ecossistemas marinhos. O estudo desse fenómeno, apoiado em abordagens experimentais e ferramentas tecnológicas, como sensores de pH e sensores de pressão, permite compreender de forma mais precisa os efeitos das alterações climáticas nos ecossistemas marinhos.

O enquadramento científico do tema ácido-base, que a seguir se apresenta, foi desenvolvido, maioritariamente, tendo como base de referência a 11ª edição do livro de “Química” de Goldsby e Chang (2013).

2.1. Enquadramento científico do tema ácido-base

Os conceitos de ácidos e bases são conceitos fundamentais da química, com aplicações vastas que abrangem desde a compreensão de reações químicas específicas até à explicação de fenómenos biológicos e processos ambientais complexos. As definições e os modelos teóricos de ácidos e bases evoluíram consideravelmente ao longo dos anos, refletindo o progresso no entendimento dos processos subjacentes a estes fenómenos.

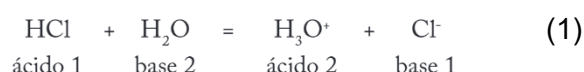
No dia a dia, é comum utilizarem-se substâncias que, do ponto de vista químico, se classificam como ácidos ou bases, embora muitos não saibam como designar essas substâncias quimicamente: ácido acetilsalicílico (aspirina) e hidróxido de magnésio (leite magnésia). Estes produtos fazem parte da rotina de muitas pessoas, mas o papel dos ácidos e das bases vai muito além disso. Têm uma presença marcante em vários processos industriais e na manutenção de sistemas biológicos. Antes de discutirmos as reações ácido-base é de relevante importância conhecer um pouco mais sobre os ácidos e bases.

2.1.1. Ácidos e bases de Brønsted e Lowry

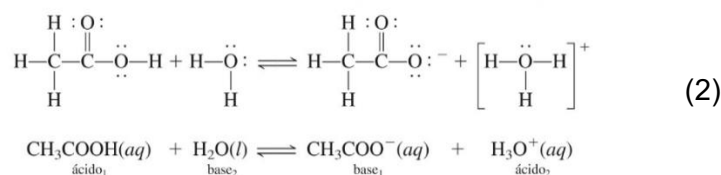
Segundo (Chang & Goldsby, 2013) define-se um ácido de Brønsted como uma substância capaz de ceder um protão, e uma base de Brønsted como uma substância capaz de aceitar esse protão. Estas definições são geralmente apropriadas para uma discussão das propriedades e reações de ácidos e bases.

O conceito de par ácido-base conjugado, isto é, um ácido e a sua base conjugada ou uma base e o seu ácido conjugado, é uma extensão da definição de ácidos e bases de Brønsted.

Cada ácido de Brønsted tem uma base conjugada e cada base de Brønsted tem um ácido conjugado. Por exemplo, o ião cloreto (Cl^-) é a base conjugada formada a partir do ácido HCl e H_2O é a base conjugada do ácido H_3O^+ (ião hidrónio).

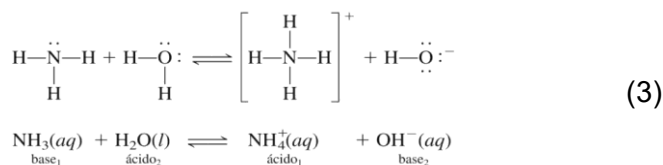


Da mesma forma, a ionização do ácido acético pode ser representada por:



Os índices 1 e 2 designam os dois pares ácido-base conjugados. Assim, o ião acetato (CH₃COO⁻) é a base conjugada do ácido acético (CH₃COOH). Tanto a ionização do HCl como a ionização do CH₃COOH são exemplos de reações ácido-base de Brønsted.

A definição de Brønsted também permite classificar a amónia como uma base devido à sua capacidade de aceitar um protão.



Neste caso NH₄⁺ é o ácido conjugado da base NH₃ e o ião hidróxido OH⁻ é a base conjugada do ácido H₂O.

Um aspeto crucial no estudo de ácidos e bases é a compreensão do conceito de pH, que mede a concentração de iões de hidrónio (H₃O⁺) numa solução, fornecendo uma escala prática para classificar soluções como ácidas, neutras ou básicas. O controle e o ajuste do pH são essenciais em processos industriais, laboratoriais e biológicos, pois muitas reações químicas e processos enzimáticos dependem de um intervalo específico de pH para ocorrerem de forma eficiente.

Segundo (Chang & Goldsby, 2013) uma vez que as concentrações de H₃O⁺ e OH⁻ em soluções aquosas são frequentemente números muito pequenos e, portanto, inconvenientes de lidar, Soren Sorensen, em 1909, propôs uma medida mais prática, chamada de pH. O pH de uma solução é definido como o logaritmo da concentração do ião hidrónio (em mol/L), com sinal negativo:

pH = -log [H₃O⁺]

A equação é apenas uma definição concebida a fim de fornecer valores mais adequados ao tratamento matemático e à interpretação química. O logaritmo com sinal negativo dá um número positivo para o pH que, de outro modo, seria negativo devido ao baixo valor de [H₃O⁺]. Além disso, o termo [H₃O⁺] diz respeito apenas à parte numérica da

expressão para a concentração do ião hidrónio, visto que não se pode aplicar logaritmos a unidades. Assim, o pH de uma solução é uma quantidade adimensional.

Uma vez que o pH é simplesmente um modo de exprimir a concentração hidrogeniónica, as soluções aquosas a 25°C podem ser distinguidas pelos seus valores de pH como se segue:

Soluções ácidas: $[H^+] > 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} < 7,00$

Soluções básicas: $[H^+] < 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} > 7,00$

Soluções neutras: $[H^+] = 1,0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$, $\text{pH} = 7,00$

Note-se que o pH aumenta quando $[H_3O^+]$ diminui.

2.1.2. A acidificação dos oceanos

A acidificação dos oceanos é um fenómeno que tem recebido atenção crescente devido às suas implicações para os ecossistemas marinhos e para as atividades humanas que deles dependem. Este processo é caracterizado pela redução do pH das águas oceânicas ao longo do tempo, principalmente como resultado da absorção de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico.

Os oceanos desempenham um papel crucial na regulação do clima global, absorvendo aproximadamente um terço das emissões antropogénicas de CO_2 . Quando o CO_2 atmosférico se dissolve na água do mar, forma ácido carbónico (H_2CO_3), que se ioniza em iões hidrogénio (H^+) e hidrogenocarbonato (HCO_3^-). O aumento na concentração de iões H^+ resulta na diminuição do pH da água do mar, tornando-a mais ácida. Além disso, a disponibilidade de iões carbonato (CO_3^{2-}), essenciais para a formação de estruturas calcárias em muitos organismos marinhos, é reduzida, acabando por prejudicar processos biológicos importantes, como a capacidade de alguns organismos formarem estruturas calcificadas (Feely & Cooley, 2009).

A acidificação dos oceanos afeta diretamente os organismos que necessitam de carbonato de cálcio para formar as suas estruturas, como é o caso dos corais, dos moluscos e de alguns tipos de plâncton. Os estudos indicam que a diminuição do pH compromete a capacidade desses organismos de construir e manter as suas conchas e esqueletos, tornando-os mais indefesos e afetando a biodiversidade marinha. Além disso, há investigações que sugerem que a acidificação pode influenciar os padrões migratórios de peixes, afetando a dinâmica das populações e a estrutura das comunidades marinhas (Gilfoyle & Baird, 2023). Estes sinais mostram, de forma evidente, que há um problema maior por trás, relacionado com o aumento da

concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. A dissolução deste gás pelos oceanos altera o seu equilíbrio químico, reduzindo o pH e tornando a água mais ácida (Caldeira & Wickett, 2003; Doney et al., 2009).

Os recifes de coral, por exemplo, são particularmente sensíveis à acidificação dos oceanos, e a sua conservação é essencial para preservar a biodiversidade marinha, bem como funções importantes que desempenham no equilíbrio dos ecossistemas, como a proteção das costas e o suporte às comunidades de pesca (Hoegh-Guldberg et al., 2008). Contudo, não basta contar apenas com a ciência, é preciso sensibilizar a população para a gravidade do problema. A educação e a consciencialização pública podem estimular a ação social e política, influenciando decisões a nível local e global. Quando as pessoas compreendem as consequências da acidificação dos oceanos, tornam-se mais propensas a adotar comportamentos sustentáveis, como reduzir o consumo de combustíveis fósseis e apoiar iniciativas ambientais.

Na escala global, o combate à acidificação dos oceanos também depende de acordos internacionais. O objetivo do Acordo de Paris de limitar o aquecimento global da superfície terrestre a $1,5\text{--}2^\circ\text{C}$ em relação aos níveis pré-industriais até 2100 terá um impacto relevante nos oceanos. Embora sejam necessárias medidas de mitigação e adaptação mais fortes, o oceano, por absorver parte do CO_2 atmosférico, continua a ter um papel importante no combate à acidificação e às alterações climáticas.

Juntando a ação política, o avanço da ciência e uma maior consciencialização global, é possível enfrentar o problema da acidificação dos oceanos e proteger a vida marinha para as gerações vindouras.

2.2. Enquadramento de investigação educacional do tema ácido-base

O ensino de conceitos de ácido e base é um dos pilares fundamentais da Química no ensino secundário (Beltran, 2024). No entanto, a sua aprendizagem apresenta desafios consideráveis devido à natureza abstrata dos conceitos envolvidos, como o pH, a ionização dos ácidos e bases, e o equilíbrio químico. A integração de metodologias ativas, incluindo abordagens experimentais e uso de tecnologia, pode proporcionar um ensino mais inovador, didaticamente mais enriquecedor e apelativo para os alunos (Bellou et al., 2018; Jaber & Hammer, 2016). Estudos recentes indicam que o uso de ferramentas digitais e abordagens experimentais melhoram a compreensão de conceitos químicos e o envolvimento dos alunos (Bellou et al., 2018; Sevia &

Talanquer, 2014). Neste contexto, a presente investigação explora a utilização de uma simulação experimental da acidificação dos oceanos em ambiente de laboratório escolar, monitorizada por sensores de pH e pressão parcial de CO₂ ($p\text{CO}_2$) ligados a uma plataforma de prototipagem eletrónica de código aberto (Arduino), como estratégia para facilitar a compreensão dos princípios ácido-base envolvidos e ajudar os alunos a perceberem as consequências que este fenómeno pode ter no ambiente.

2.2.1. Ensino do tema ácido-base e aprendizagem experimental

A aprendizagem experimental tem sido amplamente defendida na literatura como uma estratégia eficaz para o ensino de conceitos científicos, promovendo a construção ativa do conhecimento (Santos & Nagashima, 2017; Sevian & Talanquer, 2014). No contexto específico do tema ácido-base em Química, a realização de experiências permite que os alunos compreendam melhor os efeitos das variações de concentração de iões H₃O⁺ e OH⁻, bem como a influência de fatores externos como a pressão e a temperatura. Além disso, existem estudos recentes que mostram que a combinação da experimentação prática com o uso de tecnologias digitais, como sensores ligados ao Arduino, pode ajudar a ultrapassar algumas dificuldades conceptuais e concepções alternativas muito comuns no tema ácido-base. Esta abordagem parece facilitar a compreensão dos alunos, sobretudo quando se trata de fazer a ligação entre os fenómenos químicos e situações do mundo real (Morais & Araújo, 2023; Moreno et al., 2021).

2.2.2. Tecnologias digitais no ensino da Química

Na sociedade atual, a tecnologia desempenha um papel central, tornando essencial que os jovens desenvolvam competências digitais e tecnológicas, conforme indica um estudo efetuado nos Estados Unidos que fez uma revisão de oitenta e dois artigos de investigação em educação STEM com grande foco na tecnologia, publicados entre 2015-2022. Este estudo mostrou que a investigação em educação STEM com base na tecnologia tem vindo a evoluir para uma abordagem mais completa, que vai além do simples foco nos conhecimentos dos alunos. Passa também a considerar o ambiente em que aprendem e as experiências que vivem. A tecnologia deixou de ser apenas um conteúdo a ensinar e passou a ser uma ferramenta essencial, que aproxima a sala de aula do mundo real e promove interações mais autênticas. O papel dos professores também mudou, passando de transmissores de informação para facilitadores do pensamento crítico e de colaboração. Além disso, os espaços educativos estão cada

vez mais voltados para a criatividade e inovação, incentivando a aplicação do conhecimento. (Lijun & Kinoshita, 2024). A integração da tecnologia no ensino facilita a aprendizagem e o desenvolvimento de competências. Com base nesta premissa, o estudo de (Araújo & Moraes, 2024) apresentam o desenvolvimento, implementação e avaliação de uma abordagem pedagógica em Química, assente na metodologia STEM e com o Arduino como ferramenta central. A atividade teve como objetivo não só a aprendizagem de conteúdos científicos, mas também a aquisição de competências tecnológicas essenciais para o século XXI.

O Arduino, é uma ferramenta pedagógica acessível, mesmo para quem tem poucos conhecimentos de eletrônica e programação. Além disso, a sua compatibilidade com sensores de baixo custo e alta precisão permite a realização de atividades laboratoriais em Química (Grinias, et al., 2016). Diversos autores (Araújo & Moraes, 2024; Kubínová, & Sleg, 2015); Lijun & Kinoshita, 2024) destacam que a utilização do Arduino em contexto laboratorial representa uma mais-valia no ensino da Química, especialmente quando integrado numa abordagem STEM.

2.2.3. Acidificação dos oceanos como tema relevante

A acidificação dos oceanos é um dos fenômenos ambientais mais estudados na atualidade devido às suas implicações ecológicas, afetando organismos calcificantes e o equilíbrio dos ecossistemas marinhos (Doney, et al., 2020). A relação entre a concentração de dióxido de carbono (CO_2) atmosférico e a acidificação dos oceanos tem sido amplamente documentada, tornando este tema uma excelente oportunidade para ajudar os alunos a perceberem a ligação entre a Química e as alterações climáticas (Silva, et al., 2022).

3. Enquadramento didático-curricular

A elaboração deste trabalho teve por base a análise de dois documentos orientadores: o Perfil dos Alunos após a Conclusão da Escolaridade Obrigatória (PASEO) e o documento que aborda as Aprendizagens Essenciais (AE).

A temática alvo do presente estudo enquadra-se no Domínio “Reações em Sistemas Aquosos” e Subdomínio “Reações ácido-base” do documento das Aprendizagens Essenciais do 11.º ano de escolaridade da disciplina de Física e Química A, elaborado pela Direção-Geral da Educação (2018a). Irão ser foco, principal, deste estudo as seguintes aprendizagens essenciais (pp14):

8. “Interpretar a acidez da chuva normal e a formação de chuvas ácidas, explicando algumas das suas consequências ambientais”;
9. “Pesquisar, numa perspetiva intra e interdisciplinar, formas de minimizar a chuva ácida, a nível pessoal, social e industrial, e comunicar as conclusões”.

Ressalva-se o facto de que durante o 8.º ano do Ensino básico já foram introduzidos os conceitos fundamentais de ácidos e bases, incluindo as suas propriedades, reações e aplicações no dia a dia. Esses conceitos serviram como base para compreender a importância dos indicadores ácido-base e das escalas de pH, aplicadas em contextos simples, como a diferenciação entre substâncias ácidas e básicas no ambiente doméstico ou natural.

4. Ensaio investigativo em Educação em Química

4.1. Objetivos do estudo

Este estudo teve como objetivo geral investigar a aprendizagem conceptual, a sensibilização ambiental e a apropriação processual dos alunos em utilizar uma ferramenta tecnológica aplicada ao estudo de Química e sustentabilidade.

Como objetivos específicos pretendeu-se:

- Avaliar a compreensão dos alunos sobre os conteúdos de química relacionados com a acidificação dos oceanos, incluindo as reações químicas que envolvem o aumento de CO_2 e a consequente alteração do pH dos oceanos.
- Investigar a consciencialização dos alunos sobre as implicações ambientais da acidificação dos oceanos, explorando as suas perceções quanto aos efeitos nos ecossistemas marinhos na vida aquática.
- Reconhecer o potencial do Arduino como ferramenta de recolha e monitorização de dados em contextos experimentais, através da medição de parâmetros como o pH e a pressão numa simulação da acidificação dos oceanos, valorizando a sua aplicação no ensino das Ciências para obter dados fiáveis e apoiar a análise de fenómenos ambientais.

4.2. Caracterização do estudo e metodologia utilizada

A investigação seguiu uma abordagem predominantemente qualitativa, adequada à compreensão de fenómenos complexos a partir das vivências e perspetivas dos participantes. Este tipo de metodologia permite uma análise mais próxima da realidade, dando atenção ao modo como os indivíduos interpretam e atribuem significado às suas experiências. Ao invés de generalizar estatisticamente os resultados, esta metodologia foca-se na riqueza dos dados, considerando os contextos sociais e culturais em que os fenómenos ocorrem (Aspers & Corte, 2019). Esta abordagem caracteriza-se por uma epistemologia interpretativa, que reconhece a natureza subjetiva do conhecimento e a influência do investigador no processo de construção da realidade. Os métodos qualitativos, como entrevistas e observação, ajudam a perceber melhor como os indivíduos dão sentido às suas experiências (Bradshaw & Doody, 2017). A análise dos dados na investigação qualitativa é geralmente realizada por meio da análise temática ou análise de conteúdo, permitindo identificar padrões e categorias emergentes de forma indutiva. A validade da investigação qualitativa pode ser reforçada por estratégias como o cruzamento de diferentes fontes de dados, a validação pelos participantes e a reflexividade do investigador (Korstjens & Moser, 2017; Nowell et al., 2017).

4.3. Descrição dos participantes

Esta investigação decorreu durante o ano letivo de 2024/2025, envolvendo 9 dos 11 alunos que constituíam uma turma do 11º ano de escolaridade. Do total de alunos participantes, quatro eram do sexo feminino e cinco do sexo masculino, com idades compreendidas entre os 16 e os 17 anos.

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

Este estudo de investigação envolveu a realização de uma simulação experimental sobre a acidificação dos oceanos, recorrendo à plataforma Arduino para monitorizar a variação de diferentes parâmetros. Foram registados valores de pH e pressão parcial de CO₂ ($p\text{CO}_2$), permitindo aos alunos explorar a relação entre estas variáveis e o impacto da sua variação no fenómeno da acidificação dos oceanos. A atividade consistiu na dissolução controlada de CO₂ em água, através de uma reação entre o ácido acético e o hidrogenocarbonato de sódio, simulando o processo natural de dissolução deste gás nos oceanos. O pH e a pressão foram monitorizados em tempo real utilizando sensores ligados ao Arduino, nomeadamente o *DF Robot pH Sensor Kit* para a medição do pH e

o *BME280 Temperature, Humidity and Pressure Sensor* para a monitorização da pressão, permitindo que os alunos interpretassem a variação da acidez e discutissem os efeitos ambientais da acidificação dos oceanos. Os sensores de pH permitiram registar o aumento da acidez da água conforme o dióxido de carbono (CO_2) se dissolvia, enquanto os sensores de pressão monitorizaram a variação da pressão parcial do CO_2 no sistema. A utilização do Arduino possibilitou a recolha de dados contínua e a visualização gráfica em Excel das variações de pH e pressão ao longo do tempo. Com esses dados, os alunos conseguiram perceber a ligação entre a acidificação e a menor disponibilidade de iões carbonato, que são fundamentais para a formação de conchas e outras estruturas calcificadas nos organismos marinhos, criando uma experiência ligada à realidade e a várias áreas do conhecimento. Para a implementação da atividade laboratorial no contexto educativo, foi preparada uma aula de 100 minutos na qual foi abordado o conteúdo aspetos ambientais das reações ácido-base com o apoio de uma apresentação em PowerPoint (PPT). Esta apresentação teve como objetivo concluir o subdomínio das reações ácido-base e enquadrar a componente prática da atividade experimental, incluindo uma breve introdução à plataforma Arduino, a explicação da forma como seria conduzida a experiência, a apresentação do esquema de montagem e a identificação dos principais cuidados a ter durante a sua execução. Adicionalmente, foi disponibilizado, com uma semana de antecedência, um relatório orientado na plataforma *Classroom*. Este documento incluía os objetivos da atividade, o esquema de montagem, procedimento experimental e um conjunto de questões pré e pós-laboratoriais. Tanto o plano de aula como os materiais utilizados encontram-se organizados nos Anexos 1 e 2. O relatório orientado pode ser consultado no Anexo 3. Todo o trabalho que antecedeu a implementação da aula foi desenvolvido e testado experimentalmente no Laboratório de Química Educacional da FCUP durante o ano letivo, com o auxílio da professora Cidália André. No dia da atividade, que teve a duração de 100 minutos, todas as montagens experimentais encontravam-se previamente instaladas, conforme detalhado no Anexo 3 (esquema de montagem). Para a exploração da atividade recorreu-se à plataforma Arduino para a monitorização em tempo real dos parâmetros de pH e pressão, utilizando sensores ligados a um sistema de recolha automática de dados no Microsoft Excel. Após a execução da experiência os dados recolhidos foram tratados e analisados, permitindo a construção de gráficos de variação do pH e da pressão em função do tempo. A atividade integrou ainda questões pré e pós-laboratoriais que promoveram a reflexão sobre os fenómenos químicos envolvidos, os impactos da acidificação nos organismos marinhos e a importância da ação humana na mitigação deste problema ambiental.

4.5. Técnicas e instrumentos de recolha de dados

Neste trabalho utilizou-se a técnica de inquérito por questionário, tendo-se desenvolvido um teste de conhecimentos ácido-base e um questionário de consciencialização ambiental. Foi também usada a técnica de inquérito por entrevistas, tendo-se realizado entrevistas semiestruturadas aos alunos que se voluntariaram para tal.

Para avaliar os conhecimentos prévios dos alunos sobre ácido-base, foi aplicado um teste de conhecimento ácido-base (ver Anexo 4), designado como pré-teste. O teste incluía sete questões, centradas em conceitos fundamentais sobre ácido-base, três questões eram de escolha múltipla e quatro de resposta aberta. Após a intervenção pedagógica, foi reaplicado o mesmo teste de conhecimentos, funcionando como pós-teste.

Foi também aplicado um questionário de consciencialização ambiental (ver Anexo 5), antes e depois da abordagem do conteúdo ácido-base. O objetivo foi perceber o que os alunos sabiam relativamente a quatro aspetos principais: o nível de consciencialização sobre o problema, a importância que davam a possíveis soluções e intervenções, a noção de que a responsabilidade deve ser partilhada por todos e a motivação para agir, tanto de forma individual como em grupo, permitindo avaliar mais do que apenas a aprendizagem conceptual, compreender a forma como os alunos se posicionam face a um problema ambiental concreto (acidificação dos oceanos), articulando conhecimento científico com valores, atitudes e predisposição para agir. As respostas foram recolhidas através de uma escala de Likert de cinco níveis, o que permitiu perceber até que ponto os alunos concordavam ou não com as diferentes afirmações. Realizaram-se também entrevistas semiestruturadas. Para tal, foi desenvolvido um guião (ver Anexo 6), contendo dezasseis perguntas que procuraram abordar diversos pontos de interesse da investigação.

Dado que os alunos são menores de idade, enviou-se, previamente, para os encarregados de educação (EE) um termo de consentimento informado, (ver Anexo 7), para solicitar a sua autorização relativa à participação dos seus educandos nas entrevistas. Foi também solicitado aos alunos que assinassem um termo de assentimento informado, com o objetivo de garantir que compreendiam a investigação em que iriam participar e que concordavam, de forma voluntária, em envolver-se na mesma (ver Anexo 8).

4.6. Considerações sobre a recolha e o tratamento de dados

A recolha de dados e a lecionação do conteúdo foram efetuadas de acordo com a sequência temporal, presente na tabela 1.

Tabela 1- Sequência temporal das tarefas nas diferentes fases da investigação.

14 março 2025	20 março 2025	04 abril 2025	23 abril 2025	16 maio 2025	07 -14 maio 2025
Realização do pré questionário de consciencializaç ão ambiental antes de iniciar a lecionação do conteúdo ácido-base.	Realização do pré teste de conhecimentos ácido-base antes de iniciar a lecionação do conteúdo ácido-base.	Lecionação de uma aula de preparação para a aula laboratorial da simulação da acidificação dos oceanos.	Lecionação da aula laboratorial da simulação da acidificação dos oceanos na FCUP.	Realização do pós teste de conhecimento s e do pós questionário de consciencializ ação ambiental após a lecionação do conteúdo ácido-base.	Entrevistas aos alunos

A presente investigação recorreu a uma abordagem metodológica diversificada, envolvendo a aplicação de diferentes instrumentos de recolha de dados, que permitiram obter uma visão abrangente sobre as aprendizagens e perceções dos alunos.

Para a avaliação dos conhecimentos científicos relacionados com o conteúdo ácido-base, foi aplicado como pré e pós-teste um questionário constituído por sete questões. Os resultados obtidos foram tratados e analisados no Microsoft Excel, através da construção de tabelas comparativas entre respostas corretas, parcialmente corretas e incorretas, às quais foram atribuídos os valores de 2, 1 e 0, respetivamente. As tabelas auxiliares utilizadas no tratamento dos dados da análise crítica das respostas do pré teste de conhecimentos ácido-base e do pós teste encontram-se no Anexo 9.

Paralelamente, foi aplicado um questionário de consciencialização ambiental, também em formato de pré e pós-questionário, composto por dezoito questões organizadas em quatro categorias principais: consciencialização sobre o problema, importância de soluções e intervenções, responsabilidade partilhada e motivação para a ação individual e coletiva.

Utilizou-se uma escala de Likert adaptada a cinco níveis (concordo totalmente, concordo, concordo parcialmente, discordo e discordo totalmente) permitindo aferir o grau de concordância dos alunos relativamente a afirmações sobre a acidificação dos oceanos e a sua implicação individual e coletiva. Os dados foram igualmente tratados em Excel, tendo sido calculada a prevalência de resposta por categoria e representadas graficamente, o que possibilitou uma análise mais clara das mudanças nas perceções e atitudes dos alunos.

Importa referir que, entre a aplicação dos instrumentos de avaliação (pré e pós-teste de conhecimentos e pré e pós-questionário de consciencialização), foi lecionada uma aula teórica de preparação para o trabalho laboratorial, abordado todo o conteúdo relativo ao tema “ácido-base” e, só posteriormente é que foi realizada a aula prática de simulação experimental da acidificação dos oceanos no Laboratório de Química Educacional da FCUP.

Depois de todo o trabalho desenvolvido, foram realizadas entrevistas semiestruturadas com um grupo de nove alunos voluntários. Estas entrevistas tiveram como objetivo aprofundar as interpretações obtidas com base nos instrumentos e recolha de dados anteriormente referidos e obter informações mais detalhadas sobre a experiência dos alunos ao longo da atividade. As transcrições foram analisadas de forma qualitativa, recorrendo à categorização temática das respostas, tal como apresentado na Tabela 2. Os nove alunos foram designados por A1, A2 e assim sucessivamente apenas pela ordem pela qual foram entrevistados.

Tabela 2- Categorização temática para análise das entrevistas.

Categoria	Subcategoria	Descrição da Subcategoria
A. Entendimento dos conteúdos de Química	A1. Compreensão dos conceitos químicos	Inclui o entendimento das reações químicas, impacto do CO ₂ no pH e efeitos nos ecossistemas marinhos.
	A2. Relação entre teoria e prática	Capacidade de relacionar os conceitos teóricos com a experiência prática realizada.
B. Consciencialização ambiental	B1. Consciência ambiental e impacto humano	Reflexão sobre a importância de reduzir emissões, impacto humano e percepção dos problemas ambientais.
	B2. Aplicação do conhecimento	Relevância do que foi aprendido para a vida pessoal, sociedade e ações concretas.
C. Apropriação do Arduino	C1. Experiência e aprendizagens com o Arduino	Conhecimento prévio, aprendizagem adquirida, dificuldades e interesse na utilização.
	C2. Sugestões de melhoria e aplicação futura	Ideias para melhorar a experiência e possíveis contextos de uso futuros.
D. Reflexão da experiência prática	D1. Impacto pessoal e momentos significativos	Momentos marcantes da atividade e comparação com aulas tradicionais.
	D2. Desenvolvimento pessoal e cidadania	Percepção do contributo da atividade para o crescimento pessoal e formação de cidadãos conscientes.

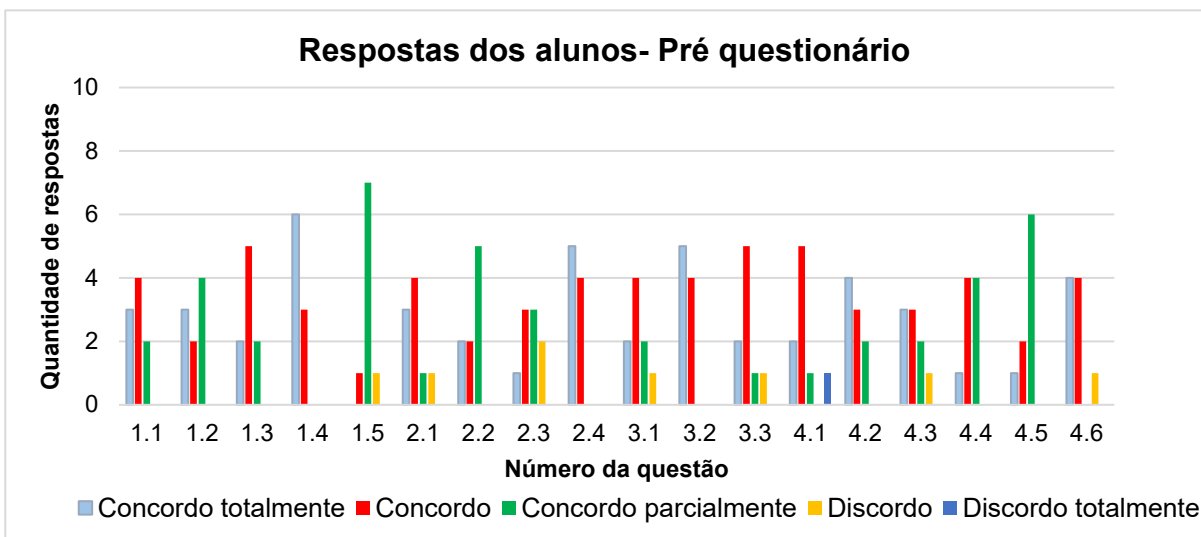
Concluída a descrição da metodologia adotada, segue-se a apresentação e discussão dos resultados, procurando refletir sobre os efeitos da intervenção nas aprendizagens e percepções dos alunos.

5. Apresentação e discussão de resultados

5.1. Questionário de consciencialização ambiental: Acidificação dos oceanos

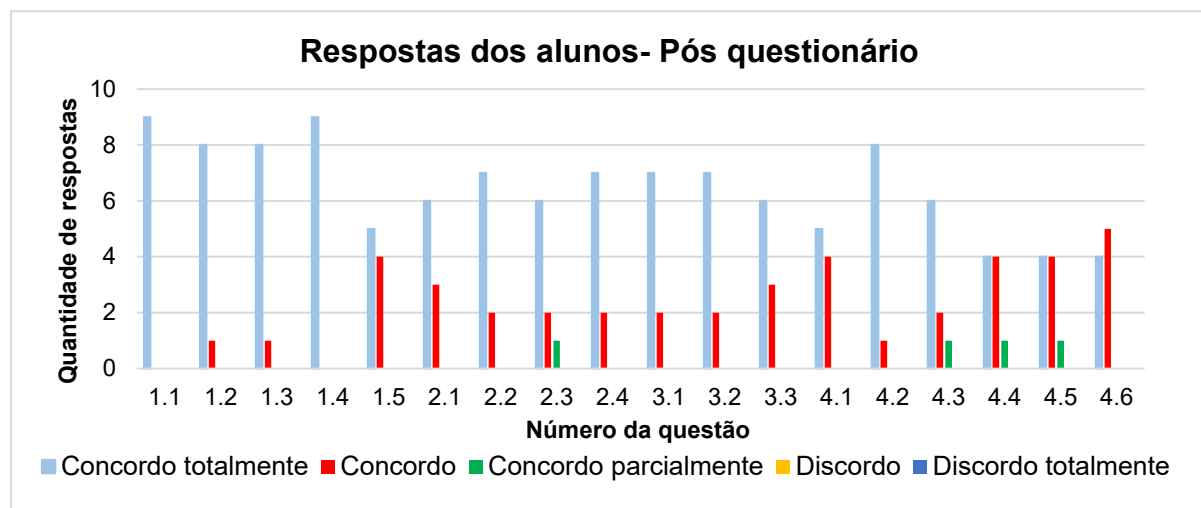
O questionário foi aplicado antes e após a abordagem do conteúdo ácido-base e da simulação da acidificação dos oceanos, sendo designado por pré e pós-questionário, respetivamente. As respostas às dezoito questões, organizadas em quatro categorias principais e referentes ao pré-questionário respondido pelos alunos são apresentadas no Gráfico 1.

Gráfico 1- Respostas dos alunos ao pré-questionário de consciencialização ambiental.



Os resultados apresentados no Gráfico 2 são referentes ao pós-questionário respondido pelos alunos.

Gráfico 2- Respostas dos alunos ao pós-questionário de consciencialização ambiental.



Com base nos dois gráficos apresentados é possível realizar uma análise articulando as quatro dimensões avaliadas:

1. Consciencialização sobre o problema (Questões 1.1 a 1.5)

Esta categoria visava avaliar o nível de literacia científica dos alunos relativamente aos processos que originam a acidificação dos oceanos, como a absorção de dióxido de carbono atmosférico pela água do mar, a consequente formação de ácido carbónico e a descida do pH, bem como os efeitos sobre organismos calcários e a cadeia alimentar marinha.

No pré-questionário, as respostas estavam bastante distribuídas entre os níveis intermédios da escala, revelando um conhecimento ainda pouco consolidado. No entanto, após a abordagem didática e a simulação experimental, verificou-se um aumento expressivo de respostas na opção “concordo totalmente”, refletindo uma evolução clara na compreensão científica, ou seja, passaram a compreender melhor os processos químicos subjacentes, os impactos ecológicos envolvidos e a relação com a ação humana, desenvolvendo uma visão mais informada, crítica e fundamentada sobre a acidificação dos oceanos.

2. Importância de soluções e intervenções (Questões 2.1 a 2.4)

Esta categoria teve como objetivo compreender a forma como os alunos percecionam o papel da educação ambiental, dos meios de comunicação social e das campanhas de sensibilização na resposta aos problemas ambientais.

No pré-questionário existia alguma dispersão nas respostas, com vários alunos a expressar apenas concordância parcial. No final, essa hesitação deu lugar a uma aceitação mais convicta: aumentaram de uma forma considerável as respostas em “concordo totalmente”, o que demonstra uma maior valorização da educação ambiental, das campanhas de sensibilização e da comunicação social enquanto agentes de mudança.

3. Responsabilidade partilhada (Questões 3.1 a 3.3)

As questões desta categoria avaliaram o reconhecimento, por parte dos alunos, da necessidade de uma resposta coletiva para mitigar a acidificação dos oceanos, envolvendo governos, comunidade científica e organismos internacionais.

No pré-questionário, observava-se já uma tendência generalizada para concordar com estas ideias, o que mostra que havia, desde o início, alguma consciência sobre a importância da cooperação no combate à acidificação dos oceanos. No pós-questionário, as respostas evidenciaram uma adesão ainda mais expressiva à opção “concordo totalmente”, indicando que os alunos consolidaram a perceção de que este problema ambiental exige uma resposta conjunta, envolvendo a ação coordenada dos governos, da comunidade científica e de entidades internacionais.

4. Motivação para a ação individual e coletiva (Questões 4.1 a 4.6)

Esta categoria procurou avaliar até que ponto os alunos estavam dispostos a adotar comportamentos mais sustentáveis, como reciclar, reduzir o uso de plástico ou participar em ações de proteção do ambiente.

No pré-questionário, era notória a dispersão de respostas, o que sugere níveis variáveis de motivação. No pós-questionário observou-se uma melhoria expressiva, com um aumento claro de respostas na opção “concordo totalmente”. Ainda assim, em algumas questões (como 4.3, 4.4, 4.5 e 4.6), persistem respostas nas opções “concordo” e “concordo parcialmente”, indicando que, apesar do progresso, a motivação para agir e sensibilizar outros ainda se encontra em desenvolvimento.

Esta experiência mostra a importância de usar estratégias de ensino que liguem a teoria à prática e que façam a ponte entre o conhecimento científico e uma cidadania mais ativa e consciente. A inclusão de atividades experimentais contextualizadas, como a simulação da acidificação dos oceanos, permite aos alunos compreender fenómenos abstratos de forma mais concreta e significativa (Hofstein & Lunetta, 2004). De acordo com (Bencze & Alsop, 2014), a integração de questões socio científicas no ensino das Ciências estimula o desenvolvimento do pensamento crítico, da literacia científica e da responsabilidade social dos alunos.

Ao longo deste estudo, verificou-se que a combinação entre a componente prática e a reflexão sobre os conceitos ajudou na construção de um conhecimento mais útil e com sentido, que pode ser aplicado a situações reais e com impacto social (Sadler, 2009). Tal como defendem (Moustafa, 2024) e (Mutanga, 2024), quando os alunos se envolvem com problemas do mundo real, a aprendizagem torna-se mais significativa e leva a uma participação mais ativa, fundamentada e crítica na sociedade.

De uma forma geral, os resultados obtidos indicam que a atividade teve uma influencia muito positiva, não só ao nível do conhecimento científico, mas também na

consciencialização ambiental dos alunos. A combinação entre a componente prática, a contextualização dos conteúdos e o contacto com dados reais mostrou-se essencial para ajudar os alunos a compreender melhor os conceitos e, acima de tudo, para despertar a consciência para a importância de adotarem atitudes e comportamentos mais responsáveis.

5.2. Teste de conhecimentos ácido-base

O teste foi aplicado, antes e após a abordagem do conteúdo “ácido-base” e da simulação da acidificação dos oceanos, sendo designado por pré e pós-teste, respetivamente. As sete questões focadas em conceitos fundamentais sobre ácido-base foram consideradas: corretas, parcialmente corretas e incorretas, atribuindo-se os valores de 2,1, e,0 respetivamente.

Nos Gráficos 3 e 4, respetivamente, apresentam-se as respostas do pré e do pós-teste de conhecimentos ácido-base.

Gráfico 3- Respostas dos alunos ao pré-teste de conhecimentos ácido-base.

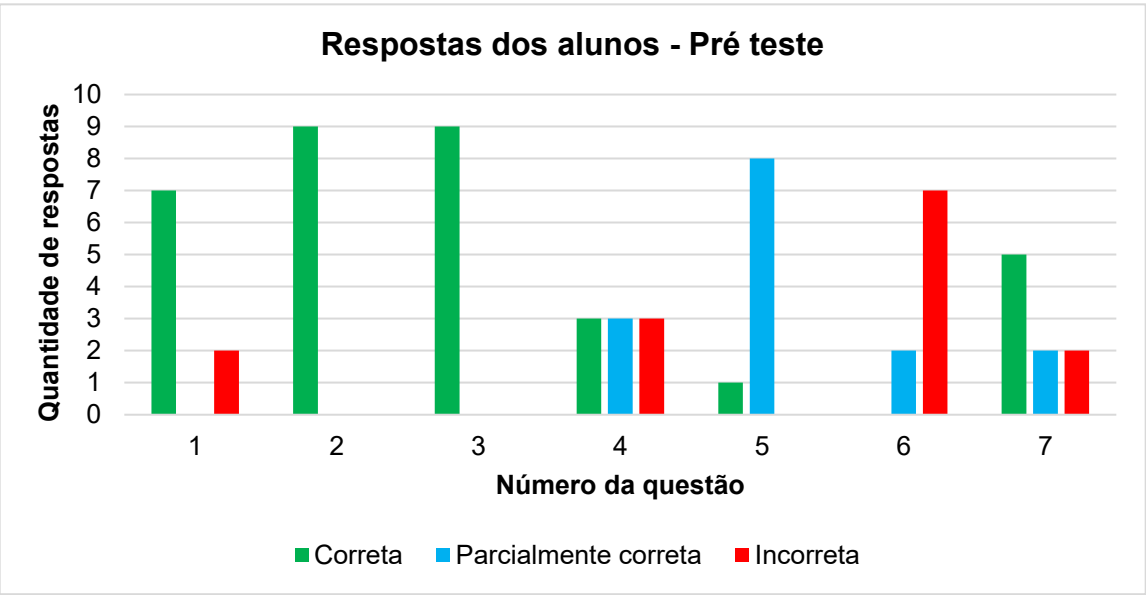
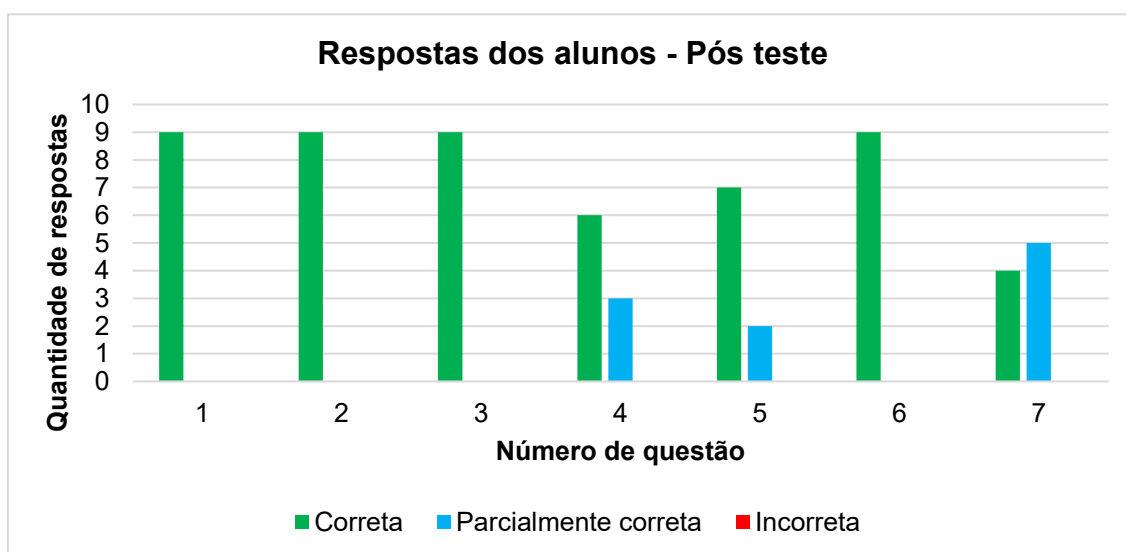


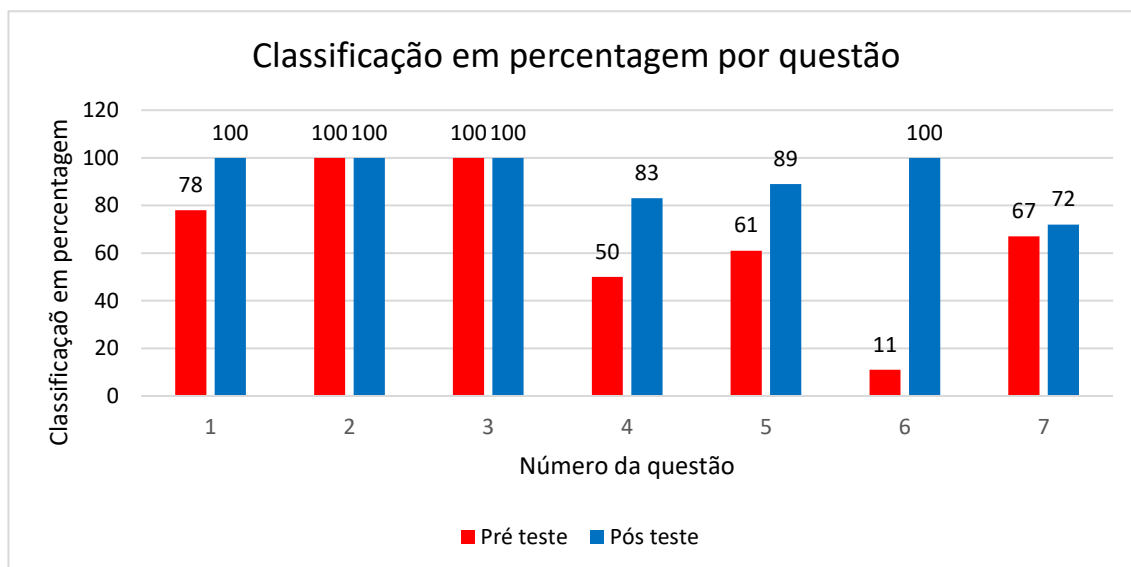
Gráfico 4- Respostas dos alunos ao pós-teste de conhecimentos ácido-base.



A análise dos dois gráficos (3 e 4) revelam uma evolução considerável nas aprendizagens dos alunos ao longo da intervenção pedagógica. As questões de escolha múltipla já apresentavam, em alguns casos, um domínio satisfatório dos conteúdos no momento inicial, mas foi nas questões abertas, que se verificaram os progressos mais expressivos. Destaca-se, em particular, a melhoria nas questões 4, 5 e 6, nas quais os alunos demonstraram uma compreensão mais profunda dos processos químicos associados à acidificação dos oceanos, bem como uma maior capacidade de aplicar o conhecimento a situações concretas. A ausência de respostas incorretas no pós-teste em várias questões mostra que a abordagem utilizada foi eficaz. As metodologias ativas, o trabalho prático e o uso de tecnologia, como o Arduino, parecem ter feito a diferença. Para além do reforço dos conteúdos, os resultados mostram também um crescimento no pensamento reflexivo dos alunos e uma maior consciência sobre as consequências que as nossas ações podem ter no ambiente.

No gráfico 5 pretendeu-se apresentar a evolução das classificações em percentagem por questão, comparando os resultados obtidos pelos alunos antes (pré-teste) e depois (pós-teste).

Gráfico 5- Classificação em percentagem por questão do pré e pós-teste de conhecimentos ácido-base.



A análise comparativa dos resultados do pré e do pós-teste revela uma progressão globalmente positiva nas classificações dos alunos, evidenciando o contributo positivo da intervenção pedagógica desenvolvida. As questões 1, 4, 5 e 6 apresentaram um aumento significativo nas percentagens de respostas corretas, destacando-se, em especial, a melhoria observada na questão 6, cuja taxa de sucesso passou de 11% para 100%. Este resultado indica a superação de dificuldades iniciais associadas ao cálculo do pH, sugerindo que a atividade experimental contribuiu para consolidar competências na resolução de problemas quantitativos. As questões 2 e 3 mantiveram a totalidade de respostas corretas em ambas as fases, o que pode ser interpretado como reflexo de um conhecimento prévio já consolidado relativamente à escrita das equações químicas que representam a formação do ácido carbónico e aos efeitos da acidificação nos organismos marinhos. A questão 7, de carácter mais reflexivo, apresentou uma melhoria menos expressiva, o que indica que persistem algumas fragilidades na capacidade dos alunos em identificar e justificar medidas concretas para mitigar os impactos da acidificação dos oceanos. Em termos globais, os resultados sugerem uma consolidação efetiva dos conhecimentos após a abordagem didática, reforçando a relevância de metodologias que articulem os domínios conceptual, procedimental e também a dimensão das atitudes, promovendo aprendizagens mais significativas, críticas e contextualizadas.

5.3. Entrevistas efetuadas aos alunos

Com o objetivo de aprofundar e enriquecer as respostas dadas pelos alunos no questionário de consciencialização ambiental e no teste de conhecimentos foram realizadas entrevistas semiestruturadas (ver Anexo 6 – Guião de Entrevistas Semiestruturadas). As entrevistas contaram com a participação voluntária de alunos, totalizando nove entrevistados (ver Anexo 10 - Transcrição das Entrevistas dos Alunos).

As perguntas incluídas na entrevista foram analisadas de acordo com as categorias e subcategorias já apresentadas na Tabela 2.

De seguida, efetua-se uma breve descrição de cada categoria e subcategoria, e apresentam-se excertos ilustrativos retirados das entrevistas.

A. Entendimento dos conteúdos de Química

A1. Compreensão dos conceitos químicos

Todos os alunos demonstraram compreender o papel do dióxido de carbono na acidificação dos oceanos. Referiram a formação de ácidos que reduzem o pH e reconheceram os efeitos negativos nos organismos marinhos, como os corais e as conchas.

A4: “- Porque o CO_2 vai então ser absorvido pela água e vai então diminuir o pH da água. Isso vai afetar porque depois vai começar a corroer os corais e outros habitats, e outros seres vivos de lá”.

A9: “- O CO_2 vai dissolver-se na água do mar e depois vai acho que vai tornar mais ácido, o que depois vai alterar a composição de... dos corais e das conchas e os corais são habitats de muitas espécies”.

A2. Relação entre teoria e prática

Todos os alunos conseguiram articular os conceitos teóricos aprendidos nas aulas com a atividade prática. Referiram que o contacto com fenómenos químicos reais, como a variação do pH e a simulação do efeito do dióxido de carbono, os ajudou a consolidar o que tinham aprendido nas aulas e fez com que a aprendizagem fizesse mais sentido.

A3: “- (...) Que na aula estudamos o teórico. Dissemos que se o dióxido de carbono se juntar com a água vai ficar mais ácida. Que depois na faculdade deixamos só um copinho fechado (...) Vai-nos explicar como é que funciona a acidificação dos oceanos, só que de uma forma fechada”.

A9: “– (...) porque se a gente não usasse os conhecimentos que tinha na aula, primeiro não ia conseguir realizar a experiência e depois não ia ter os resultados que queria (...).

B. Consciencialização ambiental

B1. Consciência ambiental e impacto humano

De modo geral, os alunos demonstraram crescente consciência sobre os impactos das emissões de dióxido de carbono nos oceanos. Reconheceram que o comportamento humano contribui para a acidificação e referiram a importância de mudanças individuais e coletivas para mitigar os danos ambientais.

A2: “- (...) Todas as formas de diminuir o pH, que é libertar o dióxido de carbono a maioria é da mão humana. Portanto, eu acho que a culpa é toda nossa. Nem é mais do ecossistema é nossa”.

A6: “- (...) Acho que. precisamos de combater isso o mais rapidamente, porque eu achava que era só, por exemplo, o lixo que deitávamos para o mar e não necessariamente os carros a andar e as fábricas a produzirem, a deitarem aquelas emissões de CO₂.

B2. Aplicação do conhecimento

Todos os alunos indicaram que o conhecimento adquirido é relevante para a tomada de decisões mais conscientes, não só ao nível pessoal, mas também para influenciar comportamentos sociais e ambientais.

A1:” - (...) ajuda a ter uma mente mais aberta ao que acontece e à importância de não poluir (...) para manter o ecossistema mais limpo (...).

A6: “- Porque vai-nos mentalizar e vai-nos... É quase como chamar a atenção que temos de mudar rapidamente a nossa forma de viver, senão o nosso mundo vai ficar destruído, acabando assim, conseqüentemente, por nos destruir a nós. Então acho que nos vai mentalizar que temos mesmo de agir agora!”

C. Apropriação do Arduino

C1. Experiência e aprendizagem com o Arduino

Seis dos nove alunos não conhecia o Arduino antes da atividade. Após a experiência, reconheceram o seu potencial para recolha e análise de dados e demonstraram interesse em aprender mais sobre o seu funcionamento.

A2: “- (...) eu acho que ele se liga a certos aparelhos e esses aparelhos conseguem fazer a sua função e ele recebe os dados e projeta num gráfico. Portanto, acho que é bastante versátil”.

A6: “- (...) facilitava muito mais a nossa experiência (...) Provavelmente teve uma menor margem de erro do que se fôssemos nós manualmente a medir o pH.”.

C2. Sugestões de melhoria e aplicação futura

Os alunos propuseram melhorias, nomeadamente a programação autónoma do Arduino, e exploraram possíveis aplicações futuras em domínios como a robótica e a programação.

A1: “- (...) Se eu pudesse montá-lo, acho que a experiência ficava logo mais interessante (...) Mas gostei da experiência em si. Acho que se fosse para repeti-la, não mudaria grande coisa”.

A2: “- (...) Era mais fácil se houvesse Arduinos, por ondas eletromagnéticas (...) Se calhar é mais prático, tipo wireless (...) porque aqueles fios todos quando eu estava a mexer em tudo, eu batia com aquilo e tinha que pôr de novo”.

A9: “- O Arduino é uma ferramenta muito versátil, então nós podemos usar o Arduino em muita coisa, então nós usamos para recolha de dados. Eu sabia... também usei era para emitir sons, por exemplo, a gente chegou a fazer uma ambulância, então o Arduino como tem a programação e é muito flexível, dá para adicionar luzes, fios, etc. O Arduino dá para muitas coisas. Eu acho que não consigo enumerá-las aqui. Tem muita utilidade o Arduino”.

D. Reflexão da experiência prática

D1. Impacto pessoal e momentos significativos

Os momentos que mais marcaram os alunos foram a ida à faculdade, ver o pH a mudar em tempo real e poder trabalhar com o Arduino. Consideraram que a atividade foi muito mais interessante do que uma aula tradicional, não só por saírem da rotina da escola, mas também por estarem num ambiente diferente, com materiais novos e com a sensação de estarem a viver algo ligado ao que poderá ser o seu futuro.

A1: “- A visita à faculdade já foi em si muito interessante (...) foi algo que eu pronto gostei muito e ver aquele laboratório e tudo e aquelas salas todas e os andares (...)”

A4: Foi mesmo nós conseguirmos ver o pH indo diminuindo e ver assim tão de perto como é que a acidificação dos oceanos assim funciona (...).

A7: “– (...) ser um ambiente diferente faz-nos ter mais emoção a fazer estas experiências... (...) mudamos um bocado de ares em vez de estar aqui fechados (...)”.

D2. Desenvolvimento pessoal e cidadania

Todos os alunos reconheceram que a experiência contribuiu para o seu crescimento pessoal e para a formação de uma consciência ambiental mais crítica, ao permitir a aplicação prática de conhecimentos científicos.

A2: “- (...) Agora vou estar mais aberto às questões ambientais (...)”.

A3: “- (...) Como estudante, contribuiu para que eu entendesse mais do tema (...) vendo a prática, primeiro e depois fazer a teoria, é como se fosse mais fácil para entender o resto da teoria”.

Os resultados obtidos através das entrevistas semiestruturadas corroboram as evidências teóricas apontadas na literatura quanto à eficácia das abordagens experimentais e tecnológicas no ensino dos conceitos de ácido-base. A natureza abstrata destes conteúdos, frequentemente referida como uma das principais dificuldades na sua aprendizagem (Bellou et al., 2018; Jaber & Hammer, 2016), foi ultrapassada, segundo os próprios alunos, através da realização da experiência prática com sensores ligados ao Arduino. A observação direta do aumento da pressão, da diminuição do pH em tempo real e o contacto com fenómenos concretos permitiram consolidar conhecimentos que, de outro modo, poderiam permanecer demasiado distantes da realidade dos alunos.

Tal como referido por (Bellou et al. 2018) e (Morais & Araújo, 2023), a aprendizagem experimental facilita a construção ativa do conhecimento e ajuda os alunos a relacionar os conceitos químicos com o mundo real. Esta relação foi evidente nos testemunhos dos alunos, que referiram compreender melhor os efeitos do dióxido de carbono nos oceanos graças à experiência realizada. A ligação entre teoria e prática foi apontada como essencial para a compreensão dos conceitos, reforçando o papel da experimentação no desenvolvimento de aprendizagens significativas.

Adicionalmente, os resultados demonstram que a utilização do Arduino contribuiu não só para a compreensão científica, mas também para o desenvolvimento de competências tecnológicas, em linha com o que é defendido por (Araújo & Moraes, 2024) e (Kubínová & Sleg, 2015). Embora a maioria dos alunos nunca tivesse contactado com esta ferramenta, o interesse demonstrado, a apropriação funcional dos sensores e as sugestões de melhoria indicam que esta abordagem promoveu uma vivência educativa

mais rica, onde a tecnologia deixou de ser apenas um meio auxiliar para se tornar uma ferramenta central de aprendizagem.

A atividade prática, realizada num contexto laboratorial universitário, funcionou ainda como elemento motivador, conforme os alunos expressaram, não só por quebrarem a rotina escolar, mas também por se sentirem próximos de ambientes profissionais e científicos. Esta perceção de autenticidade da experiência está alinhada com o que a literatura aponta como uma vantagem das metodologias STEM integradas com tecnologia: promover o envolvimento e a aproximação da ciência ao quotidiano dos alunos (Araújo & Morais, 2024; Lijun & Kinoshita, 2024).

Por fim, destaca-se que a intervenção contribuiu igualmente para o desenvolvimento de uma consciência ambiental mais crítica, aspeto já identificado em estudos que valorizam a integração de problemáticas socioambientais no ensino da Química como forma de formar cidadãos mais informados e comprometidos (Morais & Araújo, 2023). Os alunos demonstraram não só ter compreendido os efeitos da acidificação dos oceanos, mas também refletiram sobre as suas próprias atitudes e a necessidade de agir.

Em síntese, a análise dos dados dá indicadores positivos no que respeita à combinação de uma abordagem experimental com o uso de tecnologia digital, como o Arduino, utilizado enquanto via que facilita a compreensão de conceitos complexos, promove o envolvimento dos alunos, e contribui para a construção de uma literacia científica e ambiental crítica indo ao encontro das atuais orientações para o ensino da Química e da educação STEM.

6. Conclusões e implicações da investigação

6.1. Conclusões e considerações finais

O presente relatório reflete um percurso formativo profundamente enriquecedor, construído com base em práticas pedagógicas orientadas para a promoção de aprendizagens significativas, críticas e socialmente relevantes. A atividade desenvolvida centrada no tema da acidificação dos oceanos, permitiu articular de forma coerente os conteúdos curriculares da unidade ácido-base com uma problemática ambiental atual, conferindo maior relevância e aplicabilidade ao ensino da Química.

A atividade experimental permitiu mostrar, de forma concreta, o fenómeno da acidificação dos oceanos. Com recurso a um Microcontrolador Arduino equipado com sensores de pH e pressão (*DF Robot pH Sensor Kit e BME280 BME280 Temperature, Humidity and Pressure Sensor*), foi possível monitorizar em tempo real a dissolução do dióxido de carbono em água. Esta atividade permitiu aos alunos observarem a descida do pH, o aumento da pressão e compreender a ligação entre os dados experimentais e os impactos ambientais associados, tornando a aprendizagem mais significativa e próxima da realidade.

A abordagem metodológica adotada assentou na utilização de três instrumentos de recolha de dados: teste de conhecimentos, questionário de consciencialização ambiental e entrevistas semiestruturadas, cuja complementaridade permitiu ter uma perceção mais completa do impacto do trabalho desenvolvido, tanto ao nível conceptual, como das atitudes e da reflexão dos alunos.

O teste de conhecimentos mostrou ser uma ferramenta útil para perceber a evolução das aprendizagens ao nível dos conteúdos de Química. Ao comparar os resultados do pré e do pós-teste, foi evidente uma melhoria, sobretudo nas questões de aplicação prática e na compreensão dos processos ligados à acidificação dos oceanos. Esta evolução parece indicar que a articulação entre a explicação teórica e a parte experimental ajudou a ultrapassar dificuldades iniciais e a consolidar de forma mais eficaz os conceitos trabalhados.

O questionário de consciencialização ambiental, estruturado com base numa escala de Likert de cinco níveis, permitiu aferir as perceções, atitudes e motivações dos alunos face à problemática ambiental em estudo. Os resultados demonstraram um aumento expressivo das respostas mais afirmativas no pós-questionário, sobretudo nas

dimensões relativas à compreensão do fenómeno, importância de soluções e intervenções e à responsabilidade partilhada na mitigação dos seus efeitos. Ainda que algumas questões tenham mantido níveis mais moderados de concordância, os dados apontam para uma consciencialização crescente e para o desenvolvimento de uma postura mais crítica e informada.

As entrevistas semiestruturadas, por sua vez, proporcionaram uma exploração mais aprofundada das interpretações e experiências dos alunos. A análise das respostas revelou que a atividade prática foi altamente valorizada, não apenas pela componente experimental, mas também pelo contato com o ambiente universitário, que despertou curiosidade e motivação. Os alunos referiram sentir-se mais envolvidos e confiantes na sua aprendizagem, destacando o impacto positivo na abordagem adotada na forma como passaram a encarar a Química enquanto disciplina com relevância social e ambiental. As entrevistas permitiram, ainda, identificar sugestões de melhoria e refletir sobre o potencial formativo da utilização do Arduino no ensino das Ciências.

A triangulação dos dados obtidos pelos diferentes momentos confirma que a metodologia implementada foi bem-sucedida em múltiplas dimensões: favoreceu a aquisição e consolidação de conhecimentos científicos, promoveu a consciencialização para questões ambientais urgentes e incentivou atitudes mais conscientes e responsáveis face aos desafios que estas colocam.

Este estudo veio reforçar a ideia de que é mesmo possível e essencial ensinar Ciências de forma mais significativa, com ligação à realidade e com profundidade. Usar estratégias que aproximem os alunos do conhecimento científico e da sua aplicação no dia a dia faz toda a diferença. Quando se integram práticas pedagógicas ativas, experimentais e bem contextualizadas, as aprendizagens tornam-se mais sólidas e alinhadas com os desafios do mundo atual.

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

A investigação realizada assume particular relevância no âmbito da educação em Química e em Ciências, ao evidenciar a eficácia de práticas pedagógicas que promovem a articulação entre os domínios conceptual, experimental e sociocientífico. A abordagem adotada, centrada na simulação da acidificação dos oceanos, permitiu aos alunos compreender fenómenos químicos complexos, nomeadamente as reações ácido-base e os equilíbrios em meio aquoso, através da sua aplicação a um problema ambiental real e atual. Esta contextualização contribuiu para a consolidação dos conteúdos e para o desenvolvimento de competências científicas e cidadãs.

Os dados obtidos, sustentados por uma análise comparativa entre pré e pós-testes, pré e pós-questionários de consciencialização ambiental e entrevistas semiestruturadas, demonstram que a combinação de atividades experimentais com reflexão orientada favorece aprendizagens significativas, reforça a literacia científica e potencia o envolvimento ativo dos alunos no processo de construção do conhecimento. Estes resultados encontram suporte na literatura, que destaca a importância da experimentação com intencionalidade pedagógica como meio para promover o pensamento crítico, a compreensão de conceitos abstratos e o interesse pela ciência (Santos & Nagashima, 2017).

Neste sentido, torna-se evidente a necessidade de adotar metodologias de ensino-aprendizagem que transcendam a exposição teórica tradicional, promovendo a integração entre teoria e prática, a resolução de problemas reais e o desenvolvimento de uma atitude mais consciente e responsável em relação ao ambiente. As implicações desta proposta estendem-se, assim, à própria conceção curricular, ao enfatizarem a relevância de uma educação científica orientada para a ação e para a construção de uma sociedade mais sustentável.

7. Reflexão autocrítica e projetos futuros

A elaboração deste relatório de estágio constituiu, por si só, uma experiência formativa exigente, mas profundamente enriquecedora. Ao integrar uma componente investigativa sustentada em instrumentos metodológicos diversificados como teste de conhecimentos, questionários de consciencialização e entrevistas semiestruturadas, o relatório exigiu não só uma reflexão contínua sobre a prática pedagógica, mas também o desenvolvimento de competências na recolha, tratamento e análise de dados.

Durante o estágio, fui percebendo como é essencial que o ensino da Química vá além da simples transmissão de conteúdos. É importante criar espaço para a experimentação, para o questionamento e para a ligação com situações concretas do dia a dia. A atividade sobre a acidificação dos oceanos marcou-me particularmente, por juntar conceitos científicos, questões ambientais e o uso de tecnologia, como o Arduino. Ver os alunos interessados, curiosos e tão envolvidos mostrou-me, de forma clara, o valor de propostas que ligam a teoria à prática e que despertam nos alunos uma consciência mais crítica e ativa.

Ao longo deste trabalho, fui ganhando uma nova perspetiva sobre o que significa ensinar. Mais do que preparar aulas e transmitir conteúdos, percebi que também faz parte do nosso papel pensar sobre o que fazemos, refletir nas escolhas que tomamos e tentar melhorar. Escrever este relatório obrigou-me a parar para pensar e, com isso, cresci enquanto professora. Senti que investigar a minha prática me ajudou a olhar de forma mais crítica para aquilo que acontece na sala de aula e a encontrar caminhos para fazer melhor.

No futuro, pretendo continuar a explorar o uso de tecnologias educativas, como sensores digitais, plataformas interativas e Inteligência Artificial (IA), por acreditar que estas ferramentas podem tornar a aprendizagem mais dinâmica, motivadora e alinhada com os desafios de uma escola que é, cada vez mais, digital e inclusiva. Além disso, gostava de aprofundar o trabalho com metodologias baseadas em projetos, investigação e questões socio-científicas, por considerar que são formas de ensinar que vão além dos conteúdos e que contribuem para o desenvolvimento de competências importantes para uma participação mais consciente e crítica na sociedade.

Em síntese, a construção deste relatório revelou-se uma oportunidade para articular prática e investigação, exigência e reflexão, consolidando uma identidade profissional que reconhece o valor da análise crítica, do rigor metodológico e da educação como um processo transformador.

Referências Bibliográficas

- Araújo, J., & Morais, C. (2024). Investigating the influence of temperature on salt solubility in water: a STEM approach with pre-university chemistry students. *Chemistry Teacher International*, 6, 217-229. <https://doi.org/10.1515/cti-2024-0004>
- Aspers, P., & Corte, U. (2019). What is Qualitative in Qualitative Research. *Qualitative Sociology*, 42. <https://doi.org/10.1007/s11133-019-9413-7>
- Bellou, I., Papachristos, N., & Mikropoulos, T. (2018). Digital Learning Technologies in Chemistry Education: A Review. In (pp. 57-80). https://doi.org/10.1007/978-3-319-73417-0_4
- Beltran, M. (2024). Ácidos, bases e a identidade da ciência química. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 17, 726-738. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v17i2.939>
- Bencze, J., & Alsop, S. (2014). *Activist Science and Technology Education*. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4360-1>
- Bradshaw, C., Atkinson, S., & Doody, O. (2017). Employing a Qualitative Description Approach in Health Care Research. *Global Qualitative Nursing Research*, 4, 233339361774228. <https://doi.org/10.1177/2333393617742282>
- Caldeira, K., & Wickett, M. (2003). Oceanography: Anthropogenic carbon and ocean pH. *Nature*, 425, 365. <https://doi.org/10.1038/425365a>
- Chang, R., & Goldsby, K. A. (2013). *Química (ed. 11)*, AMGH Editora
- Direção-Geral da Educação (2018a). Aprendizagens essenciais. Articulação com o perfil dos alunos. 11.º ano. Ensino secundário. Física e Química A. Direção-Geral da Educação. Disponível em: https://www.dge.mec.pt/sites/default/files/Curriculo/Aprendizagens_Essenciais/11_fq_a.pdf

- Doney, S., Busch, D., Cooley, S., & Kroeker, K. (2020). The Impacts of Ocean Acidification on Marine Ecosystems and Reliant Human Communities. *Annual Review of Environment and Resources*, 45, 11.11-11.30. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012320-083019>
- Doney, S. C., Fabry, V. J., Feely, R. A., & Kleypas, J. A. (2009). Ocean acidification: the other CO₂ problem. *Ann Rev Mar Sci*, 1, 169-192. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163834>
- Feely, R., Doney, S., & Cooley, S. (2009). Ocean Acidification: Present Conditions and Future Changes in a High-CO₂ World. *Oceanography*, 22. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.95>
- Gilfoyle, A., & Baird, W. (2023). *The Impact of Rising Ocean Acidification Levels on Fish Migration*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2306.10953>
- Grinias, J. P., Whitfield, J. T., Guetschow, E. D., & Kennedy, R. T. (2016). An Inexpensive, Open-Source USB Arduino Data Acquisition Device for Chemical Instrumentation. *J Chem Educ*, 93(7), 1316-1319. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.6b00262>
- Hofstein, A., & Lunetta, V. (2004). The Laboratory in Science Education: Foundations for the Twenty-First Century. *Science Education*, 88, 28-54. <https://doi.org/10.1002/sce.10106>
- Hoegh-Guldberg, O., Hooten, A. J., Steneck, R. S., Greenfield, P., Gomez, E., Harvell, C., Sale, P., Edwards, A., Caldeira, K., Knowlton, N., Eakin, C. M., Iglesias-Prieto, R., Muthiga, N., Bradbury, R., Dubi, A., & Hatziolos, M. (2008). Coral Reefs Under Rapid Climate Change and Ocean Acidification. *Science (New York, N.Y.)*, 318, 1737-1742. <https://doi.org/10.1126/science.1152509>
- Jaber, L., & Hammer, D. (2016). Learning to Feel Like a Scientist. *Science Education*, 100, n/a-n/a. <https://doi.org/10.1002/sce.21202>
- Korstjens, I., & Moser, A. (2017). Series: Practical guidance to qualitative research. Part 4: Trustworthiness and publishing. *The European journal of general practice*, 24, 1-5. <https://doi.org/10.1080/13814788.2017.1375092>

- Kubínová, Š., & Slegr, J. (2015). ChemDuino: Adapting Arduino for Low-Cost Chemical Measurements in Lecture and Laboratory. *Journal of Chemical Education*, 92, 150807151714005. <https://doi.org/10.1021/ed5008102>
- Lijun, C., & Kinoshita, R. (2024). Systematic Review of Technology-Based STEM Education Research in the United States. *TEM Journal*, 13, 1793-1804. <https://doi.org/10.18421/TEM133-08>
- Morais, C., & Araújo, J. L. (2023). An Alternative Experimental Procedure to Determine the Solubility of Potassium Nitrate in Water with Automatic Data Acquisition Using Arduino for Secondary School: Development and Validation with Pre-Service Chemistry Teachers. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 774-781. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00615>
- Moreno, E., Coelho, C., Pedro, G., Côrrea, M., Sabino, P., Pereira, S., Langhi, R., da Silva, J. H. D., & Rocha, K. (2021). Experimento de reação química e tecnologia: possibilidades interdisciplinares no currículo do ensino fundamental. In. <https://doi.org/10.37423/211004886>
- Moustafa, A., & Al-Rashaida, M. (2024). Fostering Students' Critical Thinking Through the Implementation of Project-Based Learning. In (pp. 42-53). <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0880-6.ch004>
- Mutanga, M. B. (2024). Students' Perspectives and Experiences in Project-Based Learning: A Qualitative Study. *Trends in Higher Education*, 3(4), 903-911. <https://www.mdpi.com/2813-4346/3/4/52>
- Nowell, L., Norris, J., White, D., & Moules, N. (2017). Thematic Analysis: Striving to Meet the Trustworthiness Criteria. *International Journal of Qualitative*, 16. <https://doi.org/10.1177/1609406917733847>
- Sadler, T. (2009). Situated learning in science education: Socio-scientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45, 1-42. <https://doi.org/10.1080/03057260802681839>

- Santos, D., & Nagashima, L. (2017). Potencialidades das atividades experimentais no ensino de Química. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 8, 94-108. <https://doi.org/10.26843/rencima.v8i3.1081>
- Sevian, H., & Talanquer, V. (2014). Rethinking chemistry: A learning progression on chemical thinking. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 15. <https://doi.org/10.1039/C3RP00111C>
- Silva, B., Vasconcelos, A., & Moura, F. (2022). OS PROCESSOS QUÍMICOS E AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS: PERSPECTIVAS EM UMA COLEÇÃO DE LIVROS DIDÁTICOS DE QUÍMICA. *Conexões - Ciência e Tecnologia*, 16. <https://doi.org/10.21439/conexoes.v16i0.2121>

Anexos

Os anexos encontram-se disponíveis na hiperligação:

https://drive.google.com/drive/folders/1yot8_nv3gaM7-cqRmlrx5fY632i66EXL?usp=sharing

A lista dos anexos é a seguinte:

Anexo 1 - Plano de aula da atividade laboratorial;

Anexo 2 - Apresentação em PowerPoint;

Anexo 3 - Relatório orientado;

Anexo 4 - Teste de conhecimentos ácido-base;

Anexo 5 - Questionário de consciencialização ambiental;

Anexo 6 - Guião de entrevistas semiestruturadas;

Anexo 7 - Consentimento informado;

Anexo 8 - Assentimento informado;

Anexo 9 - Tabelas auxiliares de tratamento de dados;

Anexo 10 - Transcrição das entrevistas semiestruturadas.