

## **Da experimentação à investigação: um material didático para explorar a acidificação dos oceanos na educação básica**

**Victória Lessa da Silva<sup>1</sup>, Murilo Nícolas Mombelli<sup>2</sup>, Theles Segundo Moreira Falcão<sup>3</sup>, Alexander Belém Rodrigues da Silva<sup>4</sup>, Pedro Henrique da Silva<sup>5</sup>, Júlio Cezar Pastr<sup>6</sup> e Gildo Giroto Júnior<sup>7</sup>**

<sup>1, 2, 3, 6, 7</sup> Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Instituto de Química - v255916@dac.unicamp.br, murilonmombelli@gmail.com, chermotheles@gmail.com, jpastre@unicamp.br, ggirotto@unicamp.br

<sup>4, 5</sup> Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) - Instituto de Física - a193468@dac.unicamp.br, p213563@dac.unicamp.br

### **INTRODUÇÃO**

O ensino de Ciências foi, durante muito tempo, frequentemente marcado por práticas tradicionais centradas na transmissão e memorização de conteúdos, o que limita a participação dos estudantes e dificulta a compreensão de fenômenos relacionados ao seu cotidiano (Chassot, 2003). Nesse cenário, o Ensino por Investigação apresenta-se como uma alternativa, pois favorece o protagonismo estudantil ao promover a formulação de hipóteses, a experimentação, a análise de evidências e a construção de explicações fundamentadas (Sasseron, 2015).

A acidificação dos oceanos, resultado do aumento das emissões de CO<sub>2</sub> e reconhecida como um dos principais desafios ambientais contemporâneos, constitui um contexto relevante para integrar conceitos químicos a discussões socioambientais. Sua abordagem em sala de aula possibilita a articulação entre fenômenos reais e conteúdos como dissolução de gases, equilíbrio químico e variação de pH, tornando o aprendizado significativo. O uso de tecnologias digitais, como sensores conectados ao Arduino, amplia ainda mais essas possibilidades ao permitir a coleta e interpretação de dados experimentais, aproximando os estudantes de práticas científicas autênticas.

Neste trabalho, desenvolveu-se uma Unidade Didática Multiestratégica (UDM) fundamentada no Ensino por Investigação e alinhada à perspectiva STEAM, integrando Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática no estudo experimental da acidificação da água pela dissolução de CO<sub>2</sub>. Nesse sentido, tem-se como objetivo descrever o processo de desenvolvimento da UDM e do Produto Educacional, concebidos para favorecer práticas investigativas no ensino de Ciências, utilizando a temática ambiental como eixo integrador entre experimentação, tecnologia e abordagem STEAM.

Diante disso, o produto educacional associado busca apoiar professores e estudantes na realização da prática investigativa, promovendo a análise de dados, a integração entre diferentes áreas do conhecimento e o desenvolvimento de uma compreensão crítica sobre os impactos ambientais desse fenômeno.

### **DESENVOLVIMENTO**

A construção da UDM e do Produto Educacional seguiu uma organização metodológica alinhada aos objetivos da pesquisa, articulando Ensino por Investigação, tecnologias digitais e

abordagem STEAM. O planejamento baseou-se na revisão de referenciais teóricos e na seleção de estratégias didáticas adequadas ao experimento sobre a acidificação da água por  $\text{CO}_2$ .

A produção do material envolveu a elaboração de recursos complementares que apoiassem sua aplicação em diferentes contextos escolares. Assim, foram desenvolvidos guias, roteiros e instrumentos avaliativos integrados à UDM, garantindo coerência entre problematização, experimentação, análise de dados e sistematização conceitual, oferecendo suporte prático ao professor.

## **1. Contexto de elaboração da UDM**

A elaboração da UDM que fundamenta este produto educacional apoia-se no modelo proposto por Bego (2016), concebido como uma ferramenta de organização e sistematização do planejamento pedagógico. A UDM constitui uma proposta estruturante que integra, de maneira sequenciada e coerente, diferentes estratégias didáticas e avaliativas orientadas por objetivos de aprendizagem previamente definidos. Segundo Bego, Ferrarini e Moralles (2021), esse modelo busca favorecer a intencionalidade docente, a articulação entre teoria e prática e a construção de percursos formativos contextualizados, situando o professor como planejador crítico de sua própria ação pedagógica.

No presente trabalho, a UDM foi elaborada para o contexto da Educação Básica, configurando-se como uma sequência de aulas voltada ao ensino de Química por meio da abordagem investigativa. A temática escolhida, a acidificação dos oceanos, é um problema ambiental de relevância global que envolve processos químicos centrais, como dissolução de gases, reações ácido-base e alterações de pH. Sua seleção dialoga com discussões contemporâneas do ensino de Ciências, que defendem a exploração de fenômenos reais e socialmente significativos para promover engajamento, compreensão conceitual e alfabetização científica dos estudantes (Sasseron, 2018).

A partir do planejamento fundamentado no modelo de Bego, tornou-se evidente a necessidade de elaborar materiais complementares para apoiar a implementação da UDM em diferentes contextos escolares. Por isso, foram produzidos recursos específicos que compõem o presente produto educacional: um guia de Arduino, contendo instruções detalhadas sobre montagem dos sensores, conexões, códigos utilizados e procedimentos de calibração; uma apostila do professor, com orientações metodológicas, sugestões de mediação, fundamentos conceituais e indicações de avaliação formativa; uma apostila do aluno, com percursos investigativos estruturados, espaço para registros e questões de análise; e um material de avaliação com instrumentos que favorecem o acompanhamento contínuo das aprendizagens.

Esses materiais foram elaborados de forma integrada à UDM, assegurando que cada componente, da problematização inicial à avaliação, estivesse coerente com os objetivos de

aprendizagem, com a abordagem investigativa e com o uso de tecnologias digitais. A produção desses recursos também considera a realidade de professores que atuam em contextos variados, muitos deles com limitações de tempo, recursos ou formação tecnológica, de modo que o material busca oferecer suporte prático, detalhado e acessível.

A prática proposta se destaca por integrar os princípios da abordagem STEAM (Sanders, 2009; Yakman, 2010) e do Ensino de Ciências por Investigação (Sasseron, 2018). A dimensão Ciência está presente na exploração dos processos químicos da acidificação; a Tecnologia se manifesta no uso dos sensores e do Arduino; a Engenharia emerge na montagem de circuitos e calibração dos sistemas experimentais; a Matemática é mobilizada na análise quantitativa dos dados e interpretação de gráficos; e as Artes aparecem na produção de modelos, esquemas e representações para comunicar resultados. Paralelamente, a prática caracteriza-se como investigativa por envolver problematização, elaboração de hipóteses, coleta de dados, análise e construção coletiva de explicações fundamentadas. Dessa forma, ao combinar STEAM e investigação em torno de um problema ambiental real, a UDM potencializa o engajamento dos estudantes e promove o desenvolvimento de competências científicas e digitais.

Torna-se válido destacar que a UDM não se restringe a um roteiro de aulas, mas constitui uma estrutura formativa completa que articula planejamento intencional, experimentação com tecnologias, atividades investigativas e avaliação contínua. Essa organização multiestratégica possibilita que o professor desenvolva uma prática pedagógica coerente e significativa, ao mesmo tempo em que engaja os estudantes em um problema socioambiental atual e relevante.

## 2. Estrutura geral do Produto Educacional

A estrutura geral do Produto Educacional foi organizada em consonância com os princípios apresentados anteriormente, buscando garantir coerência entre as etapas da UDM e os pressupostos do ensino por investigação. Assim, os materiais didáticos elaborados têm como objetivo apoiar tanto o desenvolvimento das atividades experimentais quanto a promoção de práticas investigativas em sala de aula.

O primeiro recurso produzido consiste em um manual introdutório sobre placas eletrônicas, destinado a alunos e professores. Seu propósito é auxiliar a aprendizagem necessária para o uso dessa tecnologia. O guia apresenta desde os fundamentos operacionais do *hardware* até sua integração com *softwares* externos, como planilhas para organização e análise de dados, fortalecendo a coleta e interpretação de evidências, etapa essencial no ensino por investigação. A Figura 1 apresenta a capa e o sumário do material.

Figura 1: Capa e índice do manual de placas eletrônicas.



Fonte: Autoria própria (2025).

De acordo com seu site oficial, o Arduino® é uma plataforma de código aberto fundamentada na integração entre *hardware* (placas, sensores e atuadores) e software (Arduino IDE). Entre os fatores que justificam a adoção desta tecnologia, destaca-se o custo-benefício: o investimento médio para montar o kit experimental utilizado é de aproximadamente R\$220,00. Além da acessibilidade econômica, ressalta-se a possibilidade de reutilização dos componentes em diferentes experimentos, permitindo que os estudantes investiguem múltiplos fenômenos científicos de forma prática e exploratória.

Na sequência, elaborou-se o material referente ao experimento de acidificação dos oceanos. Para este e para os demais recursos didáticos, adotou-se a estratégia de produzir duas versões: uma destinada ao aluno e outra ao professor. A versão docente contém indicações pedagógicas, perguntas orientadoras e pontos de discussão, de modo a favorecer a condução de atividades investigativas. Assim, além de apresentar o conteúdo programático, o material contextualiza a abordagem STEAM e explicita a justificativa para a escolha do experimento e da utilização das placas eletrônicas como ferramenta para formular hipóteses, coletar dados e construir explicações com base em evidências.

Para completar as sequências da UDM, foram desenvolvidos ainda dois materiais complementares, também em versões distintas para estudantes e professores. O primeiro, “Material Didático: Acidificação dos Oceanos”, organiza a discussão do tema a partir de dimensões sociais, ambientais, culturais e do Ensino de Ciências, incentivando problematizações que possam originar perguntas de investigação. O segundo, “Material Didático: Avaliação”, reúne questões conceituais e propõe atividades práticas, tais como: (I) elaboração de relatório do experimento; (II) produção de divulgação científica dos resultados obtidos; e (III) construção de

mapa mental dos conceitos estudados, todas ações que envolvem comunicação e sistematização das evidências construídas ao longo da investigação.

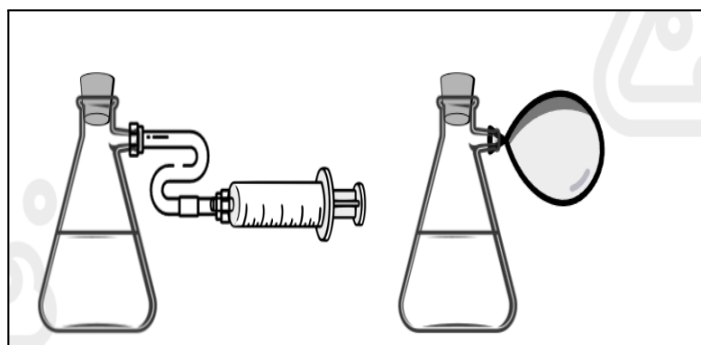
A organização dos materiais seguiu a lógica apresentada na Figura 1, compondo uma apostila integrada que articula as sequências didáticas da UDM. O conjunto oferece ao professor um suporte flexível, com sugestões de aplicação que reforçam o protagonismo investigativo dos estudantes. Ressalta-se que, apesar do direcionamento proposto, o professor preserva autonomia para adaptar, complementar e contextualizar as atividades conforme sua realidade escolar.

### 3. Descrição da prática experimental

A prática experimental constitui uma das etapas centrais do Produto Educacional, como o momento em que os estudantes vivenciam, de forma prática, a abordagem investigativa. Nessa atividade, busca-se compreender o fenômeno da acidificação dos oceanos a partir da dissolução de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) na água, articulando experimentação, tecnologia e análise de dados.

A prática é estruturada em dois sistemas experimentais complementares. O primeiro sistema envolve a produção de  $\text{CO}_2$  por meio de uma reação ácido-base. Os estudantes são responsáveis pela montagem desse arranjo, o que possibilita a identificação de variáveis relevantes, a formulação de hipóteses e a discussão sobre como o  $\text{CO}_2$  gerado se assemelha às condições que contribuem para a acidificação dos oceanos. A introdução do gás no sistema pode ser realizada de duas maneiras, dependendo dos recursos disponíveis: por meio de uma bexiga, que armazena o  $\text{CO}_2$  produzido e permite sua liberação controlada, ou por uma seringa, que possibilita a injeção direta do gás no recipiente contendo água. Essa etapa aproxima o experimento de um problema ambiental real, ao mesmo tempo em que mobiliza conceitos de Química e incentiva o protagonismo dos estudantes. Apresenta-se abaixo dois exemplos práticos do primeiro sistema no qual será extraído o  $\text{CO}_2$ .

**Figura 2:** Modelos do sistema de injeção de  $\text{CO}_2$  por bexiga ou seringa.

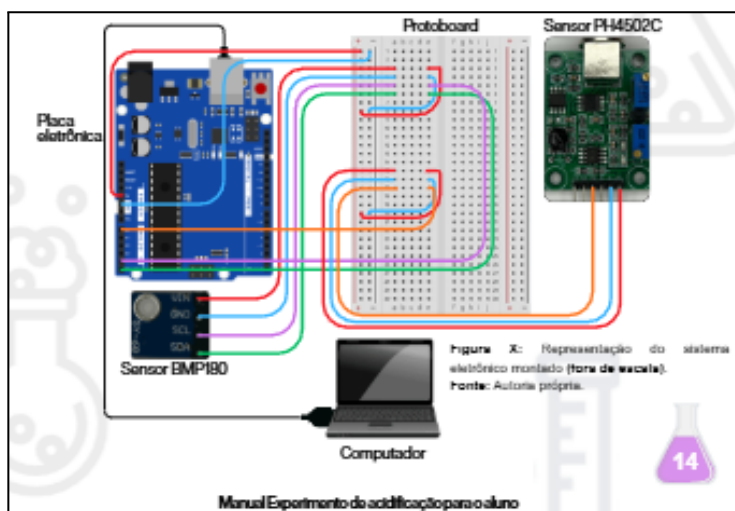


**Fonte:** Autoria própria (2025).

O segundo sistema envolve a montagem dos circuitos eletrônicos utilizados para monitorar o pH da solução durante a dissolução do CO<sub>2</sub>. Essa etapa mobiliza conhecimentos de Engenharia, Física e Matemática, ao mesmo tempo em que se articula aos conteúdos de Química e Biologia discutidos na UDM. Os estudantes conectam sensores, configuram o *software* de leitura e acompanham, em tempo real, a variação do pH, interpretando os dados gerados por meio de gráficos.

Esse processo permite a análise direta do fenômeno investigado: a tendência de queda do pH conforme o CO<sub>2</sub> se dissolve e forma ácido carbônico, aproximando a prática experimental das discussões sobre impactos ambientais, como a alteração do equilíbrio químico da água do mar e seus efeitos para organismos calcificantes. A figura 3 ilustra um exemplo do segundo sistema experimental, referente ao circuito eletrônico utilizado para o monitoramento do pH durante a prática.

**Figura 3:** Configuração do circuito eletrônico utilizado para registrar a variação de pH durante o experimento.



**Fonte:** Autoria própria (2025).

#### 4. Integração da Temática Ambiental com a Abordagem Investigativa

A escolha da acidificação dos oceanos como eixo estruturante da UDM proposta neste trabalho permite articular a educação ambiental com o ensino de Ciências por investigação. A acidificação representa um problema ambiental global amplamente discutido em pesquisas recentes, pois envolve alterações nos equilíbrios químicos do oceano decorrentes do aumento das emissões de dióxido de carbono e provoca impactos sobre a biodiversidade marinha (Feely, Doney e Cooley, 2009). Ao trabalhar essa temática no contexto escolar, os estudantes são

convidados a compreender processos químicos fundamentais ao mesmo tempo em que relacionam esses conceitos a impactos concretos sobre organismos marinhos e ecossistemas.

A abordagem investigativa confere à temática ambiental um caráter ativo e processual, permitindo que os estudantes construam explicações sobre o fenômeno a partir de suas observações, análises e ações experimentais. Nesse processo, a mediação docente desempenha um papel importante, pois é o professor quem estrutura a situação inicial, apresenta o problema a ser investigado e propõe perguntas que orientam a elaboração de hipóteses e o planejamento do experimento. Conforme discutem Sasseron e Silva (2021), o ensino por investigação demanda que o professor mobilize intencionalmente práticas epistêmicas, como incentivar justificativas, promover debates, explorar variáveis, apoiar a coleta de evidências e favorecer a construção de modelos explicativos. No caso da acidificação dos oceanos, o professor pode iniciar a aula com um problema real, por exemplo: *“Por que organismos como corais e moluscos têm sido afetados pelo aumento do CO<sub>2</sub> atmosférico?”*, e, em seguida, levantar questões orientadoras que levem os estudantes a elaborar hipóteses sobre a relação entre CO<sub>2</sub>, reações ácido-base e alterações químicas no oceano. É exatamente esse tipo de mediação que fundamenta a UDM elaborada neste trabalho e orienta os materiais complementares produzidos, os quais oferecem perguntas norteadoras, sugestões de intervenções pedagógicas e orientações para transformar a prática em um espaço efetivamente investigativo. Dessa forma, a proposta não apenas descreve uma prática experimental, mas fornece subsídios concretos para que o professor promova, de maneira intencional e estruturada, um ambiente de investigação científica na Educação Básica.

Além de fomentar o desenvolvimento de práticas investigativas, a temática ambiental favorece o engajamento dos estudantes, pois trata de um fenômeno atual, real e socialmente relevante. Questões como mudanças climáticas, sustentabilidade e preservação dos ecossistemas estão presentes em debates públicos e nas vivências cotidianas, o que amplia a percepção sobre a relevância social do conhecimento químico. Hodson (2013) destaca que o ensino de Ciências deve preparar os estudantes para compreender, avaliar e agir diante de problemas socioambientais, promovendo uma formação crítica e cidadã.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma UDM e um Produto Educacional capazes de integrar Ensino por Investigação, tecnologias digitais e abordagem STEAM no estudo da acidificação da água por CO<sub>2</sub>. A elaboração da UDM e de seus materiais complementares resultou em um conjunto articulado de recursos que apoia o professor desde o planejamento até a avaliação, oferecendo um suporte acessível às demandas atuais da sala de aula, especialmente em contextos com desafios de infraestrutura tecnológica.

A abordagem investigativa estruturou toda a proposta, permitindo organizar atividades que promovem a formulação de hipóteses, a observação de fenômenos, a análise de dados e a

construção de explicações fundamentadas. Esse processo reforça o papel do professor como mediador de práticas científicas e amplia as oportunidades de aprendizagem ativa. Assim, o Produto Educacional contribui para fortalecer o ensino investigativo em Ciências e disponibiliza materiais que favorecem autonomia docente, tomada de decisão e adaptação a diferentes realidades escolares.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPESP, à CAPES e ao Co.Educa pelo apoio e financiamento que possibilitaram o desenvolvimento deste projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEGO, Amadeu Moura. A implementação de unidades didáticas multiestratégicas na formação inicial de professores de Química. **Textos Fcc**, v. 50, p. 55-72, 2016.

BEGO, Amadeu Moura; FERRARINI, Francisco Otávio Cintra; MORALLES, Vagner Antônio. Resignificação dos estágios curriculares supervisionados por meio da implementação de Unidades Didáticas Multiestratégicas. **Educação Química em Ponto de Vista**, v. 5, n. 1, p. 5-28, 2021.

CHASSOT, Attico Inácio. **Alfabetização científica: questões e desafios para a educação**. Ed. Unijuí, 2003.

FEELY, Richard A.; DONEY, Scott C.; COOLEY, Sarah R. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO<sub>2</sub> world. **Oceanography**, v. 22, n. 4, p. 36-47, 2009.

HODSON, D. **Teaching and learning about science: Language, theories, methods, history, traditions and values**. Rotterdam: Sense, 2013.

SANDERS, Mark. Integrative STEM education: primer. **The Technology Teacher**, v. 68, n. 4, p. 20-26, 2009.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre ciências da natureza e escola. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências (Belo Horizonte)**, v. 17, p. 49-67, 2015.

SASSERON, Lúcia Helena. Ensino de ciências por investigação e o desenvolvimento de práticas: uma mirada para a base nacional comum curricular. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, p. 1061-1085, 2018.

SASSERON, Lúcia Helena; SILVA, Maíra Batistoni. Sobre Alfabetização Científica e sobre práticas epistêmicas: encontros de ações para a pesquisa e o ensino de ciências. **Alfabetização científica e tecnológica na educação em ciências: fundamentos e práticas**, 2021.

YAKMAN, Georgette. What is the point of STE@M?—A Brief Overview. **Steam: A Framework for Teaching Across the Disciplines. STEAM Education**, v. 7, n. 9, p. 1-9, 2010.