UMA ATIVIDADE INVESTIGATIVA E INTERDISCIPLINAR PARA O ENSINO DE CALORIMETRIA UTILIZANDO UM SENSOR DIGITAL DS18B20, A PLATAFORMA ARDUINO E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL GENERATIVA

Rodnil da Silva Moreira Lisbôa[1],
João Francisco Trencher Martins[2]

[1]Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado/Escola de Computação/ rodnil.lisboa@fecap.br
[2]Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado/Escola de Computação/ joao.martins@fecap.br

Resumo: Este trabalho apresenta uma atividade investigativa e interdisciplinar para o ensino de calorimetria que integra Física, Química, Educação Maker e uso orientado de Inteligência Artificial Generativa. Estudantes da 2ª série do Ensino Médio foram desafiados a identificar, entre cinco sólidos brancos visualmente indistinguíveis, qual substância estava presente em cada frasco a partir de evidências experimentais. As amostras foram adicionadas a um sistema calorimétrico de copo contendo vinagre comercial, e a temperatura foi monitorada por um termômetro digital com sensor DS18B20 montado e programado pelos próprios estudantes. Nas etapas de programação que ultrapassavam o repertório trabalhado nas aulas, os grupos recorreram a ferramentas de IA generativa, cujas respostas precisaram ser testadas, depuradas e validadas no próprio dispositivo. As assinaturas térmicas obtidas diferenciaram claramente os processos analisados, do comportamento fortemente exotérmico do NaOH à endotermia do NH_4HCO_3, e permitiram a identificação das substâncias. O relato descreve o percurso da atividade e argumenta que a IA generativa reduziu a barreira técnica de acesso ao sensor sem dispensar os conhecimentos básicos de programação nem a mediação docente. Conclui-se que a proposta é viável, de baixo custo e replicável para o ensino investigativo de calorimetria no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino por Investigação. Educação Maker. Inteligência Artificial Generativa. Calorimetria. Arduino.

Introdução

O ensino de Ciências da Natureza demanda situações didáticas que ultrapassem a exposição de conteúdos e favoreçam a participação dos estudantes nos processos de construção do conhecimento científico. Nessa perspectiva, o Ensino por Investigação propõe a organização de situações em que os estudantes sejam mobilizados a formular hipóteses, analisar evidências, argumentar e tomar decisões diante de problemas cuja resolução exige a articulação entre conhecimentos conceituais e procedimentos investigativos (Carvalho, 2013). Cabe registrar que o rótulo "ensino por investigação" tem sido aplicado sem critério consistente. Zytkuewisz e Bego (2023), ao analisarem os artigos mais citados da área, apontam a ausência de princípios básicos compartilhados e alertam para a circulação de propostas sob um "jargão investigativo". Entre os entendimentos analisados, os autores consideram adequado o critério de Bell, Smetana e Binns (2005), segundo o qual uma atividade é investigativa quando os estudantes respondem a uma questão de pesquisa por meio da análise de dados, critério que distingue investigação de

atividade meramente *hands-on*. Zytkuewisz e Bego (2023) acrescentam que partilhar ações e procedimentos do trabalho científico não converte a investigação didática em imitação da investigação científica: naquela, os estudantes constroem um conhecimento já estabelecido pela academia, embora novo para eles. Este trabalho adota esses dois parâmetros. Nessa perspectiva, o estudante assume papel ativo na produção e na interpretação das evidências, sem que a atividade escolar seja tomada como reprodução do trabalho científico. Essa perspectiva também dialoga com a teoria da Aprendizagem Significativa, segundo a qual novos conhecimentos adquirem maior significado quando podem estabelecer relações substantivas com conhecimentos previamente existentes na estrutura cognitiva do aprendiz (Moreira, 2011).

Nesse cenário, a Educação Maker oferece possibilidades para ampliar o caráter investigativo das atividades experimentais ao aproximar os estudantes das tecnologias não apenas como usuários, mas também como sujeitos envolvidos na criação e na compreensão de artefatos, sistemas e processos tecnológicos. No campo educacional, a Cultura Maker não pode ser compreendida simplesmente como a introdução de equipamentos, ferramentas digitais ou atividades manuais na escola. Halverson e Sheridan (2014) a relacionam à produção criativa de artefatos, ao compartilhamento de processos e produtos e à participação em comunidades orientadas pela criação, enquanto Dougherty e Conrad (2016) destacam valores associados à criação, ao compartilhamento, à experimentação e ao aprender fazendo. Dessa forma, o fazer assume uma dimensão formativa quando possibilita investigar problemas, testar possibilidades e construir conhecimento durante o processo de criação.

A incorporação dessas práticas ao contexto escolar, entretanto, exige intencionalidade pedagógica. Blikstein (2013) alerta que o simples acesso às tecnologias de fabricação e prototipagem não assegura aprendizagens relevantes e pode resultar em atividades centradas apenas na produção de artefatos, com reduzido desafio conceitual. Nesse sentido, a Educação Maker adquire significado educacional quando o processo de criação é articulado aos objetivos curriculares e cria oportunidades para que os estudantes mobilizem conceitos, façam escolhas, analisem resultados e reconstruam suas próprias soluções. Blikstein, Valente e Moura (2020) aproximam essa perspectiva das abordagens construcionistas, nas quais a construção de artefatos significativos pode funcionar como suporte para a externalização, manipulação e reconstrução de ideias.

Essa concepção atribui especial relevância ao caráter iterativo das atividades maker. Resnick e Rosenbaum (2013) defendem ambientes nos quais os estudantes possam explorar materiais e tecnologias, testar ideias, rever objetivos, alterar estratégias e construir

progressivamente soluções, valorizando o processo de investigação mais do que a obtenção imediata de um produto final. Nesse tipo de experiência, o erro deixa de representar apenas uma falha a ser evitada e passa a integrar um ciclo de testagem, avaliação e reconstrução. No ensino de Ciências da Natureza, essa dinâmica exige que os estudantes formulem possibilidades, avaliem evidências e modifiquem suas explicações ou procedimentos diante dos resultados encontrados, operações que sustentam a construção do conhecimento em sala, sem que a atividade escolar precise ser descrita como réplica da prática científica. Estudos sobre Educação Maker no ensino de Ciências também destacam que a produção de artefatos apresenta maior potencial formativo quando vinculada ao desenvolvimento de conhecimentos científicos e à participação efetiva dos estudantes nos processos de investigação e criação (Bevan, 2017).

A programação e a eletrônica constituem componentes relevantes nesse contexto, pois permitem que os estudantes construam dispositivos capazes de interagir com fenômenos físicos e produzir dados a partir deles. Plataformas de prototipagem como o Arduino ampliaram o acesso a esse tipo de instrumentação devido ao baixo custo, à disponibilidade de sensores e atuadores e à possibilidade de programação por meio de ferramentas amplamente difundidas (McRoberts, 2015). Entretanto, projetos que envolvem componentes mais específicos frequentemente exigem conhecimentos de programação que ultrapassam o repertório inicialmente dominado pelos estudantes. Bibliotecas, estruturas de código e procedimentos de comunicação com determinados sensores podem representar obstáculos técnicos importantes durante o desenvolvimento de um projeto, criando a necessidade de buscar informações, interpretar soluções e realizar sucessivas tentativas até que o sistema apresente o funcionamento esperado.

É justamente nesse processo que a crescente disponibilidade de ferramentas de Inteligência Artificial Generativa introduz novas possibilidades para as práticas educacionais. A Inteligência Artificial na Educação constitui um campo de investigação desenvolvido há décadas e envolve diferentes formas de apoio aos processos de aprendizagem, às estratégias pedagógicas e às interações estabelecidas em ambientes educacionais. Bittencourt et al. (2024), ao proporem a perspectiva denominada *Positive Artificial Intelligence in Education* (P-AIED), sistematizam a produção da área e defendem que a avaliação da IA na educação considere, além dos resultados de aprendizagem, construtos como emoção positiva, engajamento e bem-estar dos sujeitos. Esse deslocamento de foco sustenta a posição adotada neste trabalho: o valor educacional de uma ferramenta de IA não decorre de sua capacidade de automatizar uma tarefa, mas do que ela permite que o estudante ainda precise fazer, testar e decidir ao longo do processo.

A presença da IA nos processos educacionais, contudo, também requer análise crítica sobre os significados atribuídos à tecnologia e sobre o papel que ela efetivamente desempenha na aprendizagem. Blikstein, Zheng e Zhou (2022) analisaram um corpus de mais de 65 mil palavras extraídas dos sites de 26 empresas de Inteligência Artificial na Educação e alertam para a apropriação, no discurso comercial do setor, de termos tradicionalmente associados aos processos humanos de ensino e aprendizagem, como inteligência e aprendizagem. Os autores observam que as narrativas sobre aprendizagem e competências do século XXI não se sustentam na linguagem efetivamente empregada por essas empresas, que se concentra em customização em massa, eficiência e monitoramento, enquanto articulações mais extensas sobre ética mostram-se escassas no corpus examinado. Dessa forma, a presença de uma ferramenta de IA em determinada atividade não permite, por si só, atribuir-lhe valor pedagógico; torna-se necessário analisar o que os estudantes efetivamente fazem com essa tecnologia e quais processos cognitivos permanecem sob sua responsabilidade. Essa distinção é particularmente importante porque o "aprender" atribuído aos sistemas computacionais não corresponde ao processo de aprendizagem desenvolvido pelos estudantes em ambientes educacionais.

É nesse contexto que se insere a atividade apresentada neste trabalho. Estudantes da segunda série do Ensino Médio foram desafiados a identificar sólidos brancos visualmente indistinguíveis a partir das variações de temperatura produzidas quando as substâncias eram adicionadas a um sistema calorimétrico contendo vinagre comercial. Para realizar a investigação, os próprios estudantes montaram e programaram um termômetro digital utilizando uma placa Arduino e o sensor DS18B20, empregando ferramentas de Inteligência Artificial Generativa como apoio ao desenvolvimento de partes do código que exigiam conhecimentos ainda não trabalhados formalmente nas aulas de programação. A proposta, portanto, articula Ensino por Investigação, conceitos de Física e Química, experimentação, Educação Maker e uso pedagógico de IA generativa em uma situação na qual a tecnologia constitui parte do próprio processo de resolução do problema. O objetivo deste trabalho é descrever e analisar a aplicação dessa atividade investigativa e interdisciplinar para o ensino de calorimetria, discutindo as possibilidades da instrumentação digital e do uso orientado de IA generativa como recursos de apoio à construção, programação e utilização do sistema experimental pelos estudantes.

Metodologia

A metodologia consistiu em realizar, por parte dos estudantes, uma investigação experimental de reações de dissolução e neutralização monitoradas por um sensor digital de temperatura. O objetivo foi quantificar a variação térmica de diferentes processos químicos, permitindo que os estudantes relacionassem o sinal térmico à natureza das reações e aos fundamentos teóricos envolvidos. O desenho experimental baseou-se na calorimetria de copo, tratando o sistema como aproximadamente isolado e estimando o calor trocado a partir da variação de temperatura (Halliday; Resnick; Walker, 2016), articulando conceitos de entalpia de dissolução e neutralização (Atkins; Jones, 2012).

Participaram da atividade seis turmas da 2ª série do Ensino Médio, e a atividade teve duração de 100 minutos. Além dos dados de temperatura, o professor registrou observações das discussões e das decisões tomadas pelos grupos ao longo da atividade. Trata-se de registro de campo assistemático, realizado durante a condução da aula, sem instrumento estruturado de coleta; os elementos dele derivados são apresentados neste trabalho como descrição do percurso da atividade, e não como análise de aprendizagem conceitual ou de engajamento.

Os estudantes receberam os componentes eletrônicos de forma desmontada, sendo responsáveis pela montagem do circuito e pela elaboração da programação necessária para a aquisição dos dados. Cabe destacar que essa escola oferece, desde a 1ª série, aulas regulares de cultura maker, nas quais os alunos aprendem prototipagem e programação de microcontroladores. O trabalho foi realizado em grupos de até cinco estudantes. Durante essa etapa, foi permitido o uso de pesquisas na internet e de ferramentas de Inteligência Artificial Generativa como recursos de apoio, incentivando a autonomia, a resolução de problemas e a tomada de decisões ao longo do processo. Cada grupo escolheu livremente a ferramenta que preferiu utilizar, sendo empregados ChatGPT, Gemini e Claude.

Não foram fornecidas orientações sobre como formular as solicitações à ferramenta, uma vez que a elaboração das perguntas integrava a própria tarefa investigativa. A demanda apresentada aos estudantes foi funcional: colocar o termômetro em funcionamento, tendo como critério de verificação a exibição das leituras de temperatura no monitor serial. As reações realizadas empregaram 0,05 mol de cinco sólidos (NaCl, $NaHCO_3$, NH_4HCO_3, $Mg(OH)_2$ e NaOH) adicionados a aproximadamente 36 g de vinagre comercial no calorímetro, volume suficiente para manter o sólido integralmente submerso e o sensor imerso durante todo o ensaio. Cabe registrar que, considerando o teor usual de ácido acético do vinagre comercial (4% a 6%

em massa), essa massa corresponde a algo entre 0,024 e 0,036 mol de ácido: embora o líquido permaneça em abundância no copo, o ácido acético atuou como reagente limitante nos ensaios com espécies reativas.

Os valores de calor obtidos expressam, portanto, a extensão efetiva de cada processo nas condições do ensaio, e não a conversão integral de 0,05 mol, o que não compromete o objetivo da atividade, voltado à identificação das substâncias por suas assinaturas térmicas relativas. O procedimento foi padronizado, com estabilização térmica, aquisição contínua de dados, adição controlada do sólido e monitoramento completo da curva de temperatura, utilizando materiais de baixo custo e fácil acesso, adequados a escolas com infraestrutura mínima. A partir das curvas de temperatura registradas, os estudantes determinaram a variação térmica $\Delta T = T_{final} - T_{inicial}$ de cada ensaio. Considerando a massa de vinagre no calorímetro ($m \approx 36$ g) como aproximação da massa da solução e o calor específico da água como aproximação para o sistema ($c = 4{,}18\ J \cdot g^{-1} \cdot °C^{-1}$), a quantidade de calor foi estimada por meio da expressão $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$. Trata-se de uma simplificação de caráter didático, que traz limitações: ao desprezar a massa do sólido adicionado (entre cerca de 2,0 g e 4,2 g, conforme a substância), o módulo de Q tende a ser ligeiramente subestimado; o calor específico da solução pode diferir do da água; e não são contabilizadas a capacidade térmica do copo nem as trocas de calor com o ambiente. Como o objetivo da atividade é comparar as assinaturas térmicas relativas das substâncias, e não determinar entalpias com precisão, essas limitações não comprometem a interpretação dos resultados. Adota-se aqui a convenção de que Q representa o calor absorvido pela solução: valores positivos correspondem a processos exotérmicos, nos quais a solução recebe energia, e valores negativos a processos endotérmicos.

Além do Arduino Uno e do sensor DS18B20, utilizaram-se um resistor de 10 kΩ, béqueres de 250 mL, copos de plástico, balança digital com resolução de 0,01 g, bastão de vidro e um computador para registro dos dados. As massas dos sólidos foram calculadas pelos próprios estudantes a partir da massa molar, conteúdo já abordado nas aulas de Química. A Tabela 1 apresenta um exemplo dos dados registrados, determinados separadamente por cada grupo.

Tabela 1 – Dados experimentais utilizados na atividade investigativa

Reagente	**Fórmula**	**Massa molar ($g \cdot mol^{-1}$)**	**n (mol)**	**Massa utilizada (g)**	**ΔT (°C)**	**Quantidade de Calor**
Cloreto de sódio	NaCl	58,44	0,05	2,92	25,44 - 25,75	$Q \approx -5{,}0 \times 10^{1}$ J
Bicarbonato de sódio	$NaHCO_3$	84,01	0,05	4,20	22,50 - 24,40	$Q \approx -2{,}9 \times 10^{2}$ J

Reagente	Fórmula	Massa molar ($g \cdot mol^{-1}$)	n (mol)	Massa utilizada (g)	ΔT (°C)	Quantidade de Calor
Bicarbonato de amônio	NH_4HCO_3	79,06	0,05	3,95	22,90 - 25,19	$Q \approx -3{,}4\times10^{2}$ J
Hidróxido de sódio	NaOH	40,00	0,05	2,00	38,69 - 25,50	$Q \approx +1{,}98\times10^{3}$ J
Hidróxido de magnésio	$Mg(OH)_2$	58,32	0,05	2,92	25,25 - 25,00	$Q \approx +3{,}8\times10^{1}$J

Fonte: Autoria própria (2026)

A placa Arduino foi programada utilizando as bibliotecas *OneWire* e *DallasTemperature,* com comunicação serial configurada para a leitura automática do sensor. As medidas de temperatura, em graus Celsius, foram registradas a cada 1 segundo e transmitidas pela porta serial para visualização e acompanhamento em tempo real pelos estudantes. A Figura 1 apresenta o diagrama esquemático da montagem eletrônica e o código utilizado.



Figura 1 – Diagrama esquemático da montagem eletrônica, código utilizado e exemplo de curvas
Fonte: Autoria própria (2026)

Os ensaios experimentais foram conduzidos de forma padronizada para garantir a reprodutibilidade dos resultados. Para cada substância, utilizou-se um sistema calorimétrico simples, no qual o sensor DS18B20 permaneceu imerso na solução durante todo o experimento. Após a estabilização inicial, adicionaram-se 0,05 mol do sólido e a variação de temperatura foi registrada continuamente até a obtenção de um regime quase estacionário. Entre os ensaios, o sistema foi lavado e estabilizado novamente à temperatura ambiente, sendo adotadas medidas de segurança específicas nos ensaios com bases, uma vez que a condição de ácido limitante implica permanência de hidróxido não neutralizado na solução ao final do procedimento. As imagens apresentadas não permitem a identificação dos estudantes, e os registros do professor referem-se ao percurso coletivo da atividade, sem individualização dos participantes.

Resultados e discussões

A construção do termômetro digital antecedeu a coleta de dados e constituiu, em si, uma etapa investigativa. Embora os estudantes dominassem estruturas básicas de programação trabalhadas nas aulas regulares de cultura maker, nenhum grupo conhecia previamente o procedimento de comunicação com o sensor DS18B20 nem sabia quais bibliotecas seriam necessárias. Foi nesse ponto que as ferramentas de IA generativa foram mobilizadas, funcionando como recurso de apoio para uma demanda técnica que excedia o repertório disponível.

Os desfechos, entretanto, não foram uniformes. Parte dos códigos obtidos compilou e funcionou na primeira tentativa; outros não, sobretudo porque os estudantes não sabiam ou não recordavam como instalar as bibliotecas OneWire e DallasTemperature no ambiente de programação. Nesses casos, os grupos retornaram à própria ferramenta para esclarecer o procedimento de instalação, e alguns o realizaram corretamente enquanto outros necessitaram de novas tentativas. Um limite mais evidente manifestou-se na montagem do circuito: as ferramentas utilizadas apresentam desempenho reduzido na representação visual de esquemas eletrônicos, o que levou os estudantes a fragmentar o problema em perguntas pontuais sobre a conexão de cada terminal do sensor. Observa-se, assim, que a obtenção de uma resposta pela IA não encerrou o processo de resolução: a validação ocorreu no próprio dispositivo, e a leitura efetiva das temperaturas no monitor serial constituiu o critério que os estudantes empregaram para avaliar o êxito de suas soluções. Esse percurso é coerente com o caráter iterativo atribuído às práticas maker (Resnick; Rosenbaum, 2013) e ilustra, no plano da sala de aula, a necessidade de distinguir a presença da tecnologia de sua contribuição efetiva para a aprendizagem, necessidade que a análise de Blikstein, Zheng e Zhou (2022) sobre o discurso comercial do setor ajuda a fundamentar. No caso aqui descrito, os processos de verificação, depuração e decisão permaneceram sob responsabilidade dos estudantes.

As diferenças térmicas entre os sólidos foram nítidas e as medições estáveis, com ruído inferior a ±0,1 °C, o que demonstra a adequação do sensor DS18B20 ao ambiente escolar (Figura 2)



Figura 2 – Atividade em andamento no laboratório Maker da Instituição
Fonte: Autoria própria (2026)

O hidróxido de sódio (NaOH) apresentou a variação térmica mais intensa, com aumento de +13,19 °C, resultado compatível com sua elevada entalpia de dissolução e facilmente percebido pelos estudantes.

A etapa seguinte consistiu em calcular a quantidade de calor trocada em cada ensaio a partir dos valores de ΔT. Durante o tratamento dos dados, em todas as turmas os estudantes manifestaram dúvidas quanto à massa a ser utilizada no cálculo, questionando se deveriam considerar a massa do soluto ou a do solvente.

A partir de uma discussão coletiva mediada pelo professor, os alunos analisaram o modelo físico adotado para a calorimetria de copo e concluíram que a massa relevante para a estimativa do calor trocado era a massa da solução, aproximada pela massa do solvente, simplificação discutida na Metodologia. Esse momento revelou-se significativo para a consolidação conceitual do modelo utilizado e para a compreensão das aproximações envolvidas no tratamento dos dados experimentais.

Essa etapa permitiu comparar o módulo da quantidade de calor entre as diferentes reações, evidenciando quantitativamente o caráter fortemente exotérmico do NaOH, a endotermia mais acentuada do NH_4HCO_3 e a baixa troca de calor associada ao $Mg(OH)_2$, o que reforçou a interpretação das assinaturas térmicas para além da leitura qualitativa das curvas de temperatura. Os estudantes conheciam o conjunto das cinco substâncias envolvidas, mas não a correspondência entre cada uma delas e os frascos, e tampouco os valores esperados de variação térmica. Ao constatar que sólidos visualmente idênticos apresentavam comportamentos térmicos tão distintos, os grupos demonstraram surpresa, o que provocou uma nova onda de discussões.

O bicarbonato de sódio ($NaHCO_3$) apresentou um resfriamento moderado, da ordem de –1,9 °C, acompanhado de intensa efervescência associada à liberação de CO_2. Já o

bicarbonato de amônio (NH_4HCO_3) produziu um resfriamento mais acentuado, em torno de –2,29 °C. Em meio ácido, o íon bicarbonato é protonado e a reação produz acetato de amônio, CO_2 e água; o íon amônio permanece em solução, de modo que não há liberação de amônia. O resfriamento mais pronunciado em relação ao bicarbonato de sódio é compatível com a maior entalpia de dissolução endotérmica do NH_4HCO_3, somada ao caráter endotérmico da liberação de CO_2. Já o hidróxido de magnésio ($Mg(OH)_2$) apresentou variação térmica mínima, próxima de +0,25 °C, compatível com sua baixa solubilidade, com a lentidão da reação com o vinagre e com o fato de sua neutralização completa demandar o dobro de ácido acético por mol de sólido, quantidade não disponível nas condições do ensaio.

A análise das variações de temperatura exigiu que os estudantes interpretassem evidências experimentais, justificassem hipóteses e mobilizassem conhecimentos prévios (Carvalho, 2013). Nos termos dos parâmetros adotados, a atividade se caracteriza como investigativa por dois motivos verificáveis. Havia uma questão de pesquisa, qual substância está em cada frasco, cuja resposta só podia ser obtida pela análise de dados produzidos pelos próprios estudantes, e não pela execução de um roteiro. A montagem do termômetro, embora hands-on, não constitui por si a dimensão investigativa da proposta (Bell; Smetana; Binns, 2005): ela é o meio de produzir os dados sobre os quais a questão de pesquisa é respondida. Trata-se de investigação didática, e não de simulação do trabalho científico: o conhecimento reconstruído pelos estudantes já está estabelecido, sendo novo apenas para eles. Ao ancorar as interpretações de exotermia, endotermia e baixa variação térmica em conceitos já conhecidos de calor e temperatura, a atividade criou condições para a aprendizagem significativa (Moreira, 2011). O uso do Arduino e do sensor DS18B20 ampliou o rigor das medições e possibilitou a identificação das substâncias a partir de evidências mensuráveis, integrando Física, Química e Tecnologia em um contexto investigativo. Esse processo reforçou o uso de evidências experimentais como base para a construção das interpretações científicas.

Considerações finais

A atividade investigativa mostrou-se viável para o ensino interdisciplinar de calorimetria ao articular conceitos de Física, Química e Tecnologia em torno de um problema autêntico. O uso de instrumentação digital de baixo custo, em particular o sensor DS18B20 integrado à plataforma Arduino, ampliou o rigor experimental, possibilitou o registro contínuo das curvas de temperatura e aproximou os estudantes de práticas de automação e aquisição de dados. Do ponto de vista pedagógico, a proposta criou condições para a aprendizagem

significativa ao exigir que as interpretações de exotermia, endotermia e baixa variação térmica fossem ancoradas em conhecimentos prévios sobre calor e temperatura, em diálogo com materiais didáticos e fontes consultadas ativamente pelos próprios alunos. Nesse processo, os estudantes foram levados a construir o significado dos dados que estavam coletando. Considerando o baixo custo dos materiais empregados, a simplicidade da infraestrutura requerida e a possibilidade de adaptação a diferentes contextos escolares, conclui-se que a atividade proposta constitui uma estratégia consistente e replicável para o ensino por investigação em calorimetria no Ensino Médio, contribuindo tanto para a compreensão conceitual de conteúdos de Termologia e Química quanto para a integração com Tecnologia, Computação e Cultura *Maker* no ensino de Ciências.

No que se refere ao uso de Inteligência Artificial Generativa, a experiência sugere que a ferramenta reduziu a barreira técnica de acesso a um sensor cujo procedimento de comunicação não havia sido trabalhado em aula, viabilizando que a instrumentação fosse construída pelos próprios estudantes dentro do tempo disponível. Essa redução, contudo, não dispensou nem os conhecimentos básicos de programação previamente desenvolvidos, nem o trabalho de verificação e depuração realizado pelos grupos, nem a mediação docente. Tal configuração é coerente com o critério assumido na introdução deste trabalho: o valor educacional da ferramenta não esteve em automatizar a tarefa, mas em tornar acessível uma etapa técnica cuja resolução continuou dependendo do julgamento dos estudantes. Em diálogo com a crítica de Blikstein, Zheng e Zhou (2022), a simples presença da tecnologia não foi tomada como evidência de contribuição pedagógica, uma vez que a verificação, a depuração e a decisão sobre o funcionamento do dispositivo permaneceram sob responsabilidade dos grupos. Cabe registrar ainda que a condição de ácido limitante restringe a leitura quantitativa dos valores de calor obtidos, que devem ser tomados como comparativos entre os processos e não como estimativas de entalpias molares. Vale acrescentar, como limitação, que os registros qualitativos apresentados decorrem de observação em sala e não de instrumentos específicos de coleta, o que restringe o alcance das inferências. Investigações futuras poderão acompanhar sistematicamente as interações entre estudantes e ferramentas de IA em atividades maker, examinando de que modo a formulação das solicitações e a avaliação das respostas se relacionam ao desenvolvimento de conhecimentos de programação e de raciocínio investigativo.

Termos de uso de Inteligência Artificial Generativa

Neste trabalho foram utilizadas as ferramentas de Inteligência Artificial Generativa Claude e ChatGPT como apoio à organização de ideias, à revisão textual e à verificação da aderência das citações às fontes originais. A concepção e a condução da atividade, a produção e o tratamento dos dados, o conteúdo e a redação final são de responsabilidade dos autores.

Referências

ATKINS, Peter; JONES, Loretta. **Princípios de química**: questionando a vida moderna e o meio ambiente. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.

BELL, Randy L.; SMETANA, Lara; BINNS, Ian. Simplifying inquiry instruction. **The Science Teacher**, v. 72, n. 7, p. 30-33, 2005.

BEVAN, Bronwyn. The promise and the promises of making in science education. **Studies in Science Education**, v. 53, n. 1, p. 75-103, 2017.

BITTENCOURT, Ig Ibert et al. Positive artificial intelligence in education (P-AIED): a roadmap. **International Journal of Artificial Intelligence in Education**, v. 34, n. 3, p. 732-792, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s40593-023-00357-y. Acesso em: 29 ago. 2026.

BLIKSTEIN, Paulo. Digital fabrication and "making" in education: the democratization of invention. In: WALTER-HERRMANN, Julia; BÜCHING, Corinne (org.). **FabLabs**: of machines, makers and inventors. Bielefeld: Transcript Verlag, 2013. p. 203-222.

BLIKSTEIN, Paulo; VALENTE, José Armando; MOURA, Éliton Meireles de. Educação maker: onde está o currículo? **Revista e-Curriculum**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 523-544, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.23925/1809-3876.2020v18i2p523-544. Acesso em: 29 ago. 2026.

BLIKSTEIN, Paulo; ZHENG, Yipu; ZHOU, Karen Zhuqian. Ceci n'est pas une école: discourses of artificial intelligence in education through the lens of semiotic analytics. **European Journal of Education**, v. 57, n. 4, p. 571-583, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1111/ejed.12528. Acesso em: 29 ago. 2026.

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

DOUGHERTY, Dale; CONRAD, Ariane. **Free to make**: how the maker movement is changing our schools, our jobs, and our minds. Berkeley: North Atlantic Books, 2016.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HALVERSON, Erica Rosenfeld; SHERIDAN, Kimberly. The maker movement in education. **Harvard Educational Review**, v. 84, n. 4, p. 495-504, 2014.

MCROBERTS, Michael. **Arduino básico**. 2. ed. São Paulo: Novatec, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio. **Aprendizagem significativa**: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011.

RESNICK, Mitchel; ROSENBAUM, Eric. Designing for tinkerability. In: HONEY, Margaret; KANTER, David E. (org.). **Design, make, play**: growing the next generation of STEM innovators. New York: Routledge, 2013. p. 163-181.

ZYTKUEWISZ, Matheus Almeida Bauer; BEGO, Amadeu Moura. O que é o Ensino por Investigação, afinal? **Educação Química en Punto de Vista**, v. 7, n. 1, p. 1-14, 2023. Disponível em: https://revistas.unila.edu.br/eqpv/article/view/3306. Acesso em: 30 ago. 2026.