



## Integração entre laboratório remoto e ciclo de Modelagem de Hestenes: uma sequência didática para o ensino de Calorimetria

### Integration between a remote laboratory and Hestenes' Modeling cycle: a didactic sequence for teaching Calorimetry

**Leandro Galdino de Oliveira**

Mestrando do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática - ENCIMA  
Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo  
<https://orcid.org/0009-0009-8447-1187>  
[leandro.galdino@aluno.ifsp.edu.br](mailto:leandro.galdino@aluno.ifsp.edu.br)

**Marcio Vinicius Corrallo**

Doutor em Ciências  
GPITEF - Grupo de Pesquisa em Inovação Tecnológica para o Ensino de Física - Instituto Federal de São Paulo  
Campus São Paulo  
<https://orcid.org/0000-0001-8475-3998>  
[corrallo@ifsp.edu.br](mailto:corrallo@ifsp.edu.br)

**EDIÇÃO ESPECIAL - X ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO IFSP - CAMPUS SÃO PAULO (EICPOG)**

#### Resumo

O ensino de Física no Brasil enfrenta desafios significativos para a realização de atividades práticas, seja pela carência na infraestrutura, seja pela predominância de abordagens pedagógicas tradicionais. Nesse cenário, laboratórios remotos surgem como alternativa ao acesso limitado a laboratórios didáticos; no entanto, seu alto custo e o risco de uso restrito a práticas confirmatórias evidenciam a necessidade de articulá-los a referenciais com maior participação dos estudantes. Este trabalho propõe a integração de um laboratório remoto de baixo custo com uma sequência didática inspirada no ciclo de Modelagem de Hestenes, voltada ao ensino de calorimetria. Parte-se do pressuposto de que os dados experimentais gerados remotamente podem funcionar como gatilhos para processos de modelagem matemática. A pesquisa envolve o desenvolvimento de um laboratório remoto baseado em Arduino e uma interface *web*, bem como a estruturação de uma atividade prática em etapas do ciclo de Modelagem. Também espera-se que o comportamento não linear das curvas de aquecimento e resfriamento obtidas durante o contato térmico entre corpos pode confrontar as hipóteses iniciais dos estudantes, estimulando a elaboração de modelos matemáticos mais precisos. É razoável acreditar que a proposta integrada é uma alternativa viável para consolidar a experimentação no ensino de Física, superando barreiras estruturais e promovendo práticas que favoreçam a construção de modelos matemáticos e o desenvolvimento do pensamento científico.

**Palavras-chave:** laboratório remoto. ensino de física. ciclo de modelagem de Hestenes. atividade prática experimental.

#### Abstract

The teaching of Physics in Brazil faces significant challenges in carrying out practical activities, whether due to insufficient infrastructure or the predominance of traditional pedagogical approaches. In this scenario, remote laboratories emerge as an alternative to the limited access to instructional laboratories; however, their high cost and the risk of restricting use to confirmatory practices highlight the need to align them with frameworks that foster greater student participation. This work proposes the integration of a low-cost remote laboratory with a teaching sequence inspired by Hestenes' Modeling Cycle, focused on teaching calorimetry. The premise is that remotely generated experimental data can serve as triggers for mathematical modeling processes. The research involves the development of a remote laboratory based on Arduino and a web interface, as well as the structuring of a practical activity according to the stages of the Modeling Cycle. It is also expected that the nonlinear behavior of the heating and cooling curves obtained during thermal contact between bodies may challenge students' initial hypotheses, encouraging the elaboration of more accurate mathematical models. It is reasonable to believe that the integrated proposal is a viable alternative for strengthening experimentation in Physics teaching, overcoming

infrastructural barriers and promoting practices that support the construction of mathematical models and the development of scientific thinking.

**Keywords:** remote laboratory. physics teaching. Hestenes' modeling cycle. experimental practical activity.

## Introdução

O ensino de Física enfrenta, no cenário brasileiro, uma tensão persistente entre o reconhecido potencial pedagógico da atividade prática experimental e os múltiplos desafios que limitam sua efetivação. Se por um lado há um amplo entendimento na literatura sobre a importância da experimentação para a aprendizagem de Física, e outras Ciências, o que pode permitir a conexão de conceitos teóricos à prática (Araújo & Abib, 2003), por outro, a realidade da Educação Básica é marcada por obstáculos estruturais e metodológicos. A carência de laboratórios didáticos, um fato evidenciado por dados educacionais (INEP, 2024), combina-se com a prevalência de abordagens tradicionais de cunho demonstrativo e/ou verificador, em que as propostas das atividades práticas são concebidas de forma a direcionar os estudantes para um resultado experimental já esperado, reforçando um caráter meramente confirmatório da teoria, reduzindo-se a atividade prática a uma mera comprovação de leis e “[...] reforçando a visão ingênua da Ciência devido ao caráter confirmatório” (Corrallo, 2017, p. 27).

Diante desse contexto, os laboratórios remotos emergem como uma alternativa tecnológica que pode permitir estudantes manipularem aparatos físicos reais à distância. Embora, o custo do desenvolvimento e a manutenção de muitos desses sistemas ainda pode ser um impeditivo (Lopes, 2007), este trabalho<sup>1</sup> aborda essa questão ao apresentar o desenvolvimento de um laboratório remoto (LR) de baixo custo, que utiliza tecnologias mais acessíveis e de código aberto, como a plataforma de prototipagem Arduino<sup>2</sup>, com o objetivo de ampliar o acesso à experimentação.

Entretanto, a simples disponibilização da tecnologia não assegura, por si só, uma contribuição efetiva ao processo de ensino e aprendizagem (Cardoso, Takahashi & Oliveira, 2015), visto o inerente risco de que os LRs sejam utilizados apenas para replicar digitalmente os mesmos tradicionais roteiros fechados, subutilizando seu potencial investigativo. Diante disso, considera-se importante articular a utilização dessa tecnologia educacional a um referencial teórico-metodológico de caráter investigativo. Nesse sentido, este trabalho propõe uma sequência didática baseada em modelagem matemática, inspirada no ciclo de Modelagem de Hestenes, como estrutura para a realização de uma atividade experimental apoiada em um LR de baixo custo. Essa metodologia pode ressignificar o papel do experimento, ao deslocar o foco da simples verificação de teorias para um processo investigativo de construção, teste e validação de modelos matemáticos que descrevem fenômenos, promovendo uma participação ativa dos estudantes (Santos, Corrallo & Santos, 2025).

## Objetivos

Este trabalho, objetiva-se em apresentar o potencial pedagógico da articulação entre LR de baixo custo e uma sequência didática baseada no ciclo de Modelagem de Hestenes. Para isso, são descritos: (i) a arquitetura do LR desenvolvido; (ii) a proposta de atividade prática sobre calorimetria, estruturada segundo esse ciclo; e (iii) a análise dos dados experimentais gerados, ilustrando seu uso na construção e validação de modelos matemáticos.

---

<sup>1</sup> É um recorte do projeto de pesquisa, do primeiro autor, do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática (ENCiMA) do Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo.

<sup>2</sup> Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de *hardware* livre, composta por uma placa de circuito programável (*hardware*) e um ambiente de desenvolvimento (IDE) utilizado para escrever e transferir o código para a placa.

## Metodologia

A metodologia articula o desenvolvimento de uma solução tecnológica com a proposição de uma sequência didática inspirada no ciclo de Modelagem de Hestenes. O LR<sup>3</sup> de baixo custo é assim denominado por ser significativamente mais acessível em comparação com os LR usualmente utilizados. Isso se deve ao fato de ter como elemento central a plataforma de prototipagem Arduino, que o torna bastante acessível a escolas e a professores interessados em implementar essa tecnologia em sua atividade profissional. Sua arquitetura é composta por três camadas integradas, conforme detalhado no Quadro 1. O esquema da arquitetura do LR é ilustrado na Figura 1 e imagens reais do LR são apresentadas na Figura 2.

Já a atividade prática de calorimetria foi estruturada com base em uma adaptação do ciclo de Modelagem de Hestenes, conforme a sequência didática detalhada do Quadro 2.

### Quadro 1

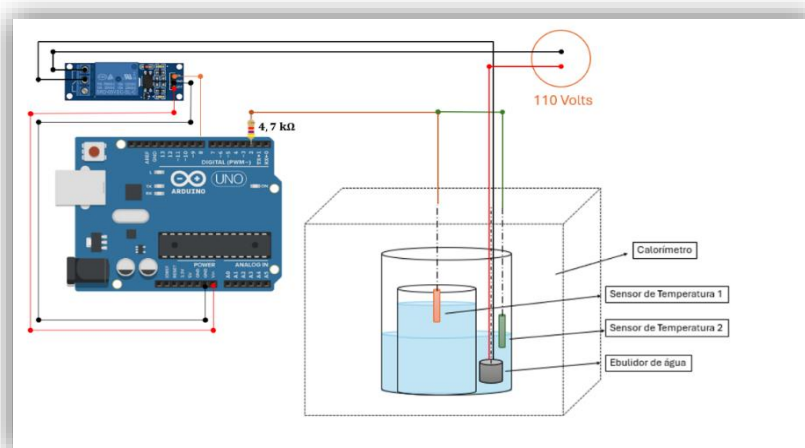
#### Arquitetura do Laboratório Remoto de Baixo Custo

| Camada           | Componentes e Tecnologias                                                                              | Função Principal                                                                                                               |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Hardware</b>  | Arduino UNO, sensores DS18B20 <sup>4</sup> , módulo relé <sup>5</sup> , ebulidor de água e câmera web. | Gerenciar os componentes físicos, realizar medições de temperatura e atuar sobre o sistema (aquecimento).                      |
| <b>Servidor</b>  | Node.js, Express.js, Socket.IO e Serial Port.                                                          | Processar as requisições, gerenciar a lógica do experimento e a comunicação em tempo real entre o <i>hardware</i> e o usuário. |
| <b>Interface</b> | HTML, CSS, JavaScript e Chart.js.                                                                      | Permitir a interação do usuário com o experimento e visualizar os dados coletados em um gráfico dinâmico via página web.       |

Fonte: Autoria própria.

### Figura 1.

#### Esquema da montagem do LR



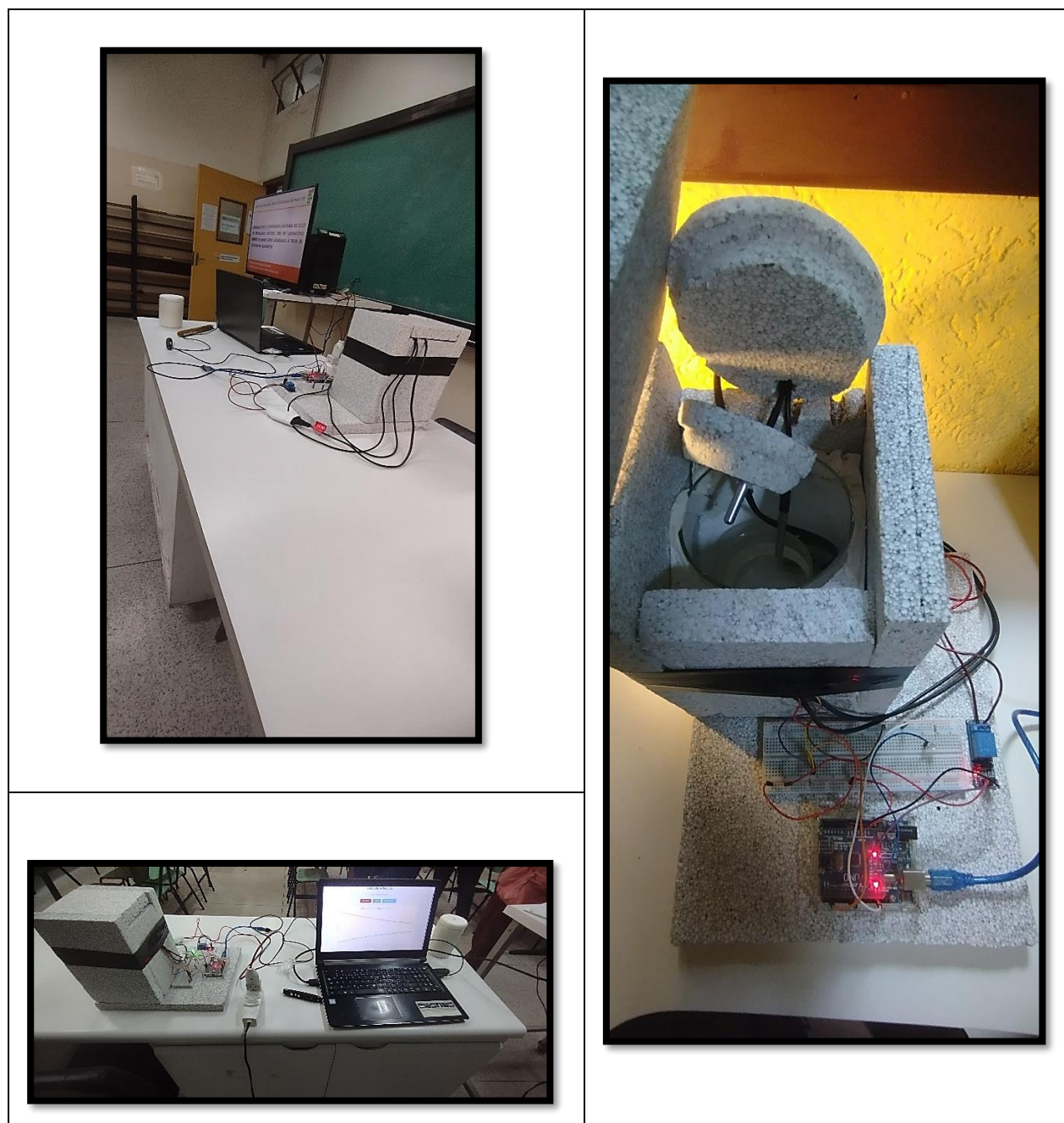
Fonte: Organização própria<sup>6</sup>.

<sup>3</sup> O LR pode ser acessado à distância pelos estudantes, ou ser utilizado pelo professor no mesmo ambiente físico com eles, sendo a interação realizada, inclusive, por meio de seus próprios *smartphones*.

<sup>4</sup> Sensor digital de temperatura que pode ser integrado ao Arduino.

<sup>5</sup> Dispositivo que pode ser integrado ao Arduino para controlar digitalmente o ebulidor de água.

<sup>6</sup> Elaboração própria do esquema do calorímetro, a imagem do Arduino foi obtida por *print* de tela da plataforma <https://www.tinkercad.com/> e a ilustração do Relé foi gerada por IA Gemini.

**Figura 2***LR de baixo custo para o experimento de calorimetria*

Fonte: Acervo próprio.

**Quadro 2***Etapas da sequência didática inspirada no Ciclo de Modelagem Hestenes*

| Primeiro estágio: desenvolvimento dos modelos |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Discussão pré-laboratorial</b>             | A etapa inicial envolve uma discussão guiada para descrever o sistema em estudo, aqui composto por dois líquidos (A e B) em um calorímetro, separados por recipientes de vidro. Os participantes (separados em pequenos grupos) são incentivados a formular hipóteses qualitativas sobre o comportamento das temperaturas, como a variação da temperatura esperada para o líquido mais quente e para o mais frio, e a discutir como será a |

|                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                           | taxa de mudança da temperatura. Ao final, espera-se que os grupos esbocem gráficos para representar suas previsões sobre as curvas de temperatura dos líquidos.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Investigação</b>                                       | Neste momento, os grupos são incentivados a analisarem os dados experimentais reais coletados a partir do LR. Sugere-se que observem as curvas de temperatura, comparando-as com os esboços previamente feitos, e verifiquem como as temperaturas mudam ao longo do experimento e se tendem a uma temperatura de equilíbrio ( $T_q$ ). Com base na análise da forma das curvas, espera-se que os grupos discutam e talvez possam propor modelos matemáticos (funções lineares, polinomiais, exponenciais, dentre outras funções), que, de alguma forma, possam prever o fenômeno observado.                                                                                                                                              |
| <b>Discussão pós-laboratorial</b>                         | Nesta etapa, os grupos são convidados a compartilhar e discutirem os modelos matemáticos que propuseram. Cada proposta é analisada coletivamente, avaliando seus pontos, as características principais do gráfico (valores inicial e final, bem como a forma da curva) e os parâmetros envolvidos na definição da função.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Segundo estágio: validação e refinamento do modelo</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Validação e refinamento</b>                            | Neste momento, sugere-se que os grupos discutam como os modelos propostos podem ser aprimorados ou refinados. É importante enfatizar que a modelagem é um processo criativo que envolve simplificações e que os modelos podem ser continuamente melhorados à medida que a compreensão do fenômeno aumenta. Com base nos dados disponibilizados pela aplicação <i>web</i> , os grupos podem utilizar ferramentas computacionais, como o <i>software</i> SciDAVis <sup>7</sup> , para encontrar a curva que melhor se ajuste aos dados, bem como as constantes envolvidas no fenômeno em estudo. Após essa análise, espera-se que os grupos retornem à discussão geral e reflitam sobre a validade e os limites de cada modelo encontrado. |

Fonte: Inspirado em Santos, Corrallo e Santos (2025, p. 5).

## Resultados e discussão

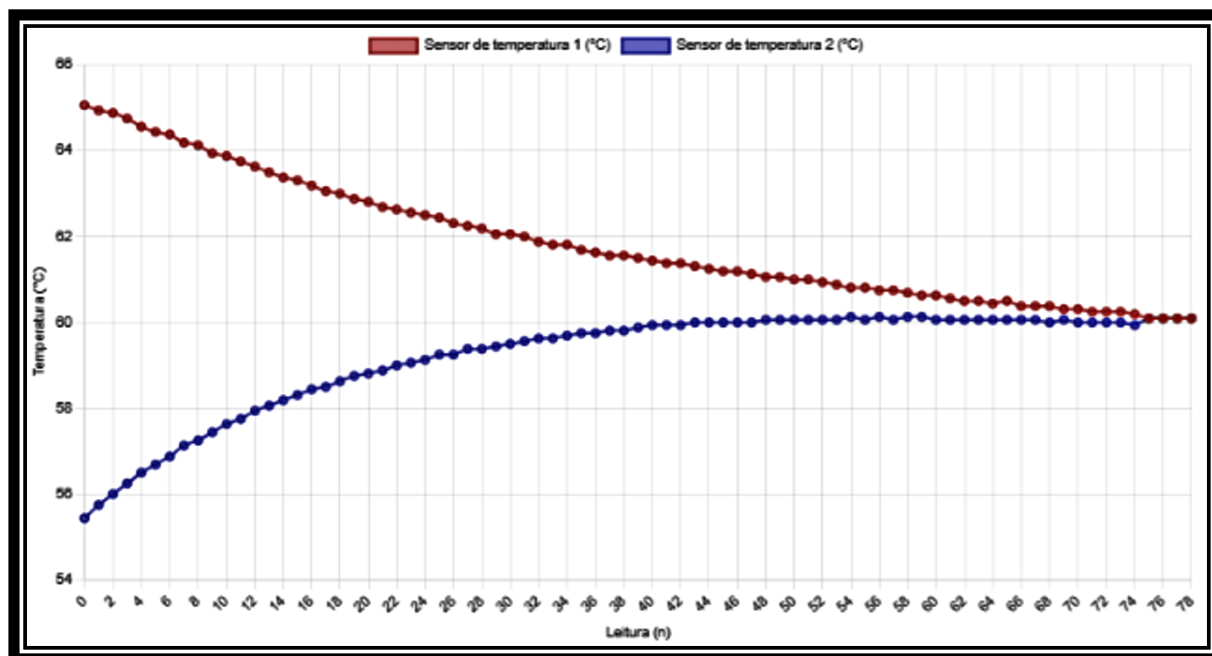
A aplicação da atividade prática com o LR fornece os dados empíricos que servem como ponto de partida para o processo de modelagem. O gráfico da Figura 3, plotado em tempo real na página *web* do LR, a partir dos dados coletados pelos sensores DS18B20, é o elemento central da **etapa de Investigação** do ciclo proposto, veja Quadro 2. É nesse momento que o LR pode corroborar à metodologia, ao fornecer as evidências que podem confrontar as hipóteses iniciais dos grupos.

<sup>7</sup> É um aplicativo gratuito para análise dados e plotagem de gráficos. Disponível em: <https://scidavis.sourceforge.net/>. Acesso em: 06 jul. 2025.



**Figura 3**

Gráfico de Temperatura (°C) versus Leitura (n) gerado pela interface web do LR



Fonte: Print de tela gerado com a Interface web.

Os dados obtidos no experimento de calorimetria registram a interação térmica entre uma massa de água de maior temperatura<sup>8</sup> e outra de menor temperatura, ambas inseridas em um calorímetro. O gráfico apresentado na Figura 3 revela um comportamento característico: as curvas de temperatura não são lineares. Ao contrário, a variação é mais acentuada no início e diminui progressivamente à medida que o sistema se aproxima do equilíbrio ( $T_q$ ).

A não linearidade do gráfico pode se tornar o principal gatilho pedagógico da atividade. Ao compararem o gráfico real com seus esboços iniciais, os estudantes podem experimentar um conflito cognitivo, favorecendo a reflexão e a reconstrução de suas ideias. É importante que analisem a forma da curva e, assim, possam reconhecer que um modelo de reta simples é insuficiente para descrever o fenômeno. Essa constatação pode gerar a necessidade de buscar modelos matemáticos mais sofisticados, como funções quadráticas, exponenciais, logarítmicas ou hiperbólicas, podendo gerar uma discussão sobre qual função melhor se ajusta aos dados e qual o significado físico dos parâmetros de cada modelo. Nesse momento, o professor pode sugerir o uso de ferramentas computacionais para ajudar na escolha da curva que melhor se ajusta aos dados experimentais. Assim, o LR, associado a uma sequência didática inspirado no ciclo de Modelagem de Hestenes, não atua como um mero ilustrador de uma teoria, mas como uma ferramenta que pode produzir as evidências necessárias para um processo genuíno de investigação e construção de modelos.

### Considerações finais

A construção do LR, integrando a plataforma de prototipagem Arduino e uma interface web, pode ser uma alternativa viável e replicável para democratizar o acesso a atividades práticas experimentais. Contudo, a principal contribuição deste estudo reside em demonstrar como a tecnologia, quando alinhada a uma metodologia participativa, como o ciclo de Modelagem de Hestenes, pode enriquecer a prática experimental. Os dados não lineares

<sup>8</sup> A água é aquecida por meio do acionamento pelo usuário do ebulidor de água, via página web (interface).

gerados pelo laboratório não são apenas um resultado, mas pode se transformar em um gatilho pedagógico que pode impulsionar a discussão e a necessidade de construção de modelos matemáticos mais elaborados.

Espera-se que a articulação entre o LR e a sequência didática baseada no ciclo de Modelagem de Hestenes contribua para a transição do ensino de Física de um modelo transmissivo para uma abordagem mais participativa, na qual os estudantes possam formular hipóteses e testar modelos. A proposta demonstra que, com recursos acessíveis, é possível promover práticas experimentais em que os estudantes participem ativamente do processo científico, superando a lógica da mera verificação.

## Referências

- Araújo, M. S. T. & Abib, M. L. V. S. (2003). Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, 25 (2), p. 176–194.
- Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP. (2024). *Censo da Educação Básica 2023: notas estatísticas*. Brasília, DF: INEP.  
[https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas\\_e\\_indicadores/resumo\\_tecnico\\_censo\\_escolar\\_2023.pdf](https://download.inep.gov.br/publicacoes/institucionais/estatisticas_e_indicadores/resumo_tecnico_censo_escolar_2023.pdf).
- Cardoso, D. C., Takahashi, E. K., & Oliveira, T. M. (2015). Possibilidades e Limitações Relacionadas ao Uso de um Experimento Remoto em uma Abordagem Investigativa. In: X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – X ENPEC, 2015. Águas de Lindóia, SP. *Anais [...]*. Águas de Lindóia, SP: ABRAPEC. <https://www.abrapec.com/enpec/x-enpec/anais2015/busca.htm?query=TAKAHASHI>.
- Corrallo, M. V. (2017). *Atividades práticas experimentais para o ensino de Física: uma investigação utilizando a Teoria do Núcleo Central*. 2017. 228 f. Tese (Doutorado) - Programa: Ensino de Ciências (Modalidade Física) - Instituto de Física, Instituto de Biociências, Instituto de Química, Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Lopes, S. P. M. L (2007). *Laboratório de Acesso Remoto em Física*. 2007. 147 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra.
- Santos, C. C. M., Corrallo, M. V., & Santos, S. C. R. (2025). EXPLORANDO A PROPORCIONALIDADE POR MEIO DA MODELAGEM COM PLUVIÔMETRO DE BÂSCULA AUTOMATIZADO. In: XXVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2025. Niterói, RJ. *Anais [...]*. Niterói, RJ: Sociedade Brasileira de Física, 2025.  
[https://www.researchgate.net/publication/388504306\\_EXPLORANDO\\_A\\_PROPORCIONALIDADE\\_POR\\_MEIO\\_DA\\_MODELAGEM\\_COM\\_PLUVIOMETRO\\_DE\\_BASCULA\\_AUTOMATIZADO](https://www.researchgate.net/publication/388504306_EXPLORANDO_A_PROPORCIONALIDADE_POR_MEIO_DA_MODELAGEM_COM_PLUVIOMETRO_DE_BASCULA_AUTOMATIZADO).