

# Educação *Maker* e Computação Física no Ensino de Ciências: Um Relato de Experiência sobre Lançamento de Projéteis

Rodnil da Silva Moreira Lisboa<sup>1,2</sup>, João Francisco Trencher Martins<sup>1</sup>, Lucy Mari Tabuti<sup>1</sup>, Victor Bruno Alexander Rosetti de Quiroz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fundação Escola de Comércio Álvares Penteado (FECAP)  
Caixa Postal 01502 - 001 – São Paulo – SP – Brazil

<sup>2</sup>Universidade Federal do ABC (UFABC)  
Caixa Postal 09210 - 580 – Santo André – SP – Brazil

{rodnil.lisboa,lucy.tabuti,joao.martins,victor.quiroz}@fecap.br

**Abstract.** *This article presents an experience report on a pedagogical intervention that integrated Maker Education and Physical Computing in teaching projectile motion in high school. The activity required students to design, assemble, and program a digital speedometer using Arduino and infrared sensors to measure the velocity of a sphere and predict its landing point. The sequence culminated in a gamified “single-attempt” dynamic, in which groups positioned a target based on their calculations. The results indicated high student engagement, autonomy in code debugging, and articulation between programming and logical reasoning.*

**Resumo.** *Este artigo apresenta um relato de experiência sobre uma intervenção pedagógica que integrou Educação Maker e Computação Física no ensino de lançamento de projéteis no Ensino Médio. A atividade propôs que estudantes projetassem, montassem e programassem um velocímetro digital com Arduino e sensores infravermelhos para medir a velocidade de uma esfera e prever seu ponto de queda. A sequência culminou em uma dinâmica gamificada de “tentativa única”, na qual os grupos posicionaram um alvo com base em seus cálculos. Os resultados indicaram alto engajamento dos estudantes, autonomia na depuração de códigos e articulação entre programação e raciocínio lógico.*

## 1. Introdução

O desenvolvimento do Pensamento Computacional tem sido reconhecido como uma competência fundamental para a formação contemporânea, ampliando a capacidade de resolução de problemas em diferentes áreas do conhecimento [Wing 2006]. No Brasil, as diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação reforçam a importância da integração da Computação na Educação Básica [SBC 2019].

O ensino de Física, de maneira particular no estudo da cinemática, muitas vezes restringe o estudante à posição de observador passivo de fenômenos abstratos ou o limita a interagir com equipamentos fechados. Para transformar esse cenário, a Educação *Maker* e a Computação Física surgem como alternativas pedagógicas poderosas para reduzir a abstração dos conceitos, promovendo a interação entre o mundo físico e o virtual [Freitas, Pires e Pessoa 2025]. Fundamentada no construcionismo, essa abordagem parte da premissa de que a aprendizagem torna-se muito mais significativa quando os alunos estão ativamente engajados na construção de

artefatos tangíveis, criando “objetos para pensar”, conceito central do construcionismo de Papert [Papert 1980].

Contudo, a cultura *maker* no ambiente escolar deve ir muito além do simples uso de materiais manuais ou de um "fazer pelo fazer", exigindo intencionalidade pedagógica e planejamento docente [Gavassa 2020]. É fundamental que as atividades desenvolvidas nos espaços *maker* estejam profundamente articuladas com os conteúdos do currículo escolar, equilibrando a criação tecnológica com a formação científica [Blikstein, Valente e Moura 2020]. O uso de plataformas de prototipagem eletrônica de código aberto, como o Arduino, aliado à Aprendizagem Baseada em Projetos, tem se mostrado altamente eficaz para tornar conceitos abstratos da Física em elementos concretos e manipuláveis, estimulando simultaneamente o raciocínio lógico e o trabalho em equipe [Hemann e Bulegon 2025; Silva et al. 2025].

Nesse sentido, quando os próprios alunos assumem a responsabilidade intelectual de projetar e construir as ferramentas necessárias para as suas investigações, em vez de receberem tudo pronto, eles exercem plenamente a sua agência epistêmica [Fernandez et al. 2024]. O dispositivo criado deixa de ser uma mera réplica ilustrativa e se consolida como um autêntico "artefato para pensar", apoiando de forma concreta a validação de hipóteses e a elucidação dos mecanismos subjacentes ao fenômeno.

Diante desse contexto, este artigo apresenta um relato de experiência sobre uma intervenção pedagógica interdisciplinar realizada com estudantes do 2º ano do Ensino Médio. Os alunos receberam o desafio de prever matematicamente a distância horizontal exata do ponto de queda de uma esfera lançada do topo de uma rampa curva. Para encontrar a velocidade horizontal inicial da bolinha, os grupos precisaram projetar, montar e programar na linguagem C++ um velocímetro digital autoral utilizando a plataforma Arduino e sensores infravermelhos.

O ponto culminante da atividade ocorreu por meio de uma dinâmica de gamificação fundamentada na regra da "tentativa única". Emulando o rigor da ciência e da engenharia reais, onde profissionais lidam constantemente com a imprevisibilidade, os estudantes tiveram o direito de posicionar o alvo no chão e soltar a bolinha pela rampa apenas uma vez. Essa dinâmica exigiu que os grupos revisassem repetidamente seus códigos computacionais e cálculos matemáticos, estimulando a tomada de decisões diante de cenários de incerteza característicos de uma sociedade de risco [Pietrocola, Schnorr e Rodrigues 2025].

A contribuição deste relato situa-se na articulação entre três elementos que, embora discutidos isoladamente na literatura recente sobre Educação Maker e Computação Física, raramente aparecem integrados em uma mesma sequência didática: (i) a construção autoral do instrumento de medição pelos próprios estudantes, em lugar do uso de sensores fechados ou simuladores; (ii) a aplicação imediata desse instrumento na resolução de um problema quantitativo de cinemática, exigindo articulação entre programação, matemática e física; e (iii) a introdução da regra de 'tentativa única', que desloca o erro do final da atividade (avaliação) para o seu interior (depuração), aproximando a experiência escolar do rigor próprio do fazer científico sob incerteza.

## 2. Fundamentação Teórica

O conceito de Pensamento Computacional, proposto por Wing (2006), refere-se à capacidade de formular problemas e estruturar soluções de modo que possam ser executadas por humanos ou máquinas. No contexto educacional brasileiro, essa perspectiva é reforçada pelas Diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação (SBC), que defendem a integração da Computação na Educação Básica como meio de desenvolver autonomia, criatividade e pensamento crítico frente às transformações do mundo digital [SBC 2019].

O alicerce pedagógico para essa integração da Computação ao ensino escolar encontra-se no construcionismo de Seymour Papert, que postula que a aprendizagem ocorre de maneira significativamente mais eficaz quando os alunos estão ativamente engajados na construção de artefatos tangíveis e com significado pessoal, transformando o computador e a programação em autênticos "objetos para pensar" [Papert 1980].

Para materializar essa construção no ambiente escolar, o Movimento *Maker*, impulsionado pela cultura do "faça você mesmo" (*do-it-yourself*), representa uma revolução prática com forte impacto educacional [Anderson 2012]. No entanto, para que a Educação *Maker* não se restrinja a um modismo superficial fundamentado apenas no uso de "papel e cola", ela exige profunda intencionalidade pedagógica e mediação docente [Gavassa 2020].

O sucesso dessa integração reside em estabelecer um equilíbrio estruturado entre as demandas do currículo escolar (focadas na formação científica) e as práticas da cultura *maker* (focadas na criação tecnológica aplicada ao mundo real) [Blikstein, Valente e Moura 2020]. Nesse cenário, a Computação Física atua como uma ponte metodológica eficaz, promovendo a interação direta entre o mundo físico e o ambiente digital [Freitas, Pires e Pessoa 2025].

Especificamente no ensino de Ciências, a utilização de microcontroladores (como o Arduino) e sensores tem se mostrado uma ferramenta poderosa para tornar fenômenos abstratos mais concretos, facilitando a compreensão através da extração de dados reais [Hemann e Bulegon 2025]. A eficácia dessa abordagem *maker* e tecnológica é expressivamente ampliada quando retira o aluno da posição passiva e o insere no centro do processo de descoberta [Silva et al. 2025]. Ao integrar a programação do Arduino à construção de instrumentos de medição, promovem-se altos níveis de engajamento entre os adolescentes [Pereira e Santos 2025; Ramos et al. 2025].

Contudo, a literatura recente enfatiza que o ensino prático de ciências deve ir além de "apenas proporcionar diversão"; deve focar na promoção da agência epistêmica, garantindo que os estudantes utilizem a tecnologia para investigar fenômenos, testar ideias próprias e compreender os mecanismos subjacentes à teoria [Fernandez et al. 2023; Fernandez et al. 2024]. Esse processo investigativo é fortalecido pelos pilares da Aprendizagem Criativa, Projetos, Pares, Paixão e Brincadeiras, que fomentam a autoria estudantil, a colaboração e a exploração sistemática pautada na iteração [Linhais, Polastri e dos Reis 2025].

Por fim, a educação científica e tecnológica contemporânea necessita preparar os alunos para atuar sob a incerteza, uma característica marcante de uma sociedade de

risco onde ações humanas e sistemas fabricados geram consequências inevitáveis e muitas vezes imprevisíveis [Pietrocola, Schnorr e Rodrigues 2025]. Ao introduzir uma dinâmica de gamificação fundamentada na regra da "tentativa única" para o lançamento do projétil, o ambiente escolar emula o rigor e a imprevisibilidade do mundo real. Essa estratégia restritiva não apenas eleva a demanda cognitiva e o rigor matemático exigido dos grupos, mas também consolida um cenário onde o erro não é punitivo por natureza, mas uma etapa crucial que exige uma depuração minuciosa, resiliência e análise crítica de variáveis [Pietrocola, Schnorr e Rodrigues 2025].

### 3. Metodologia e Relato de Experiência

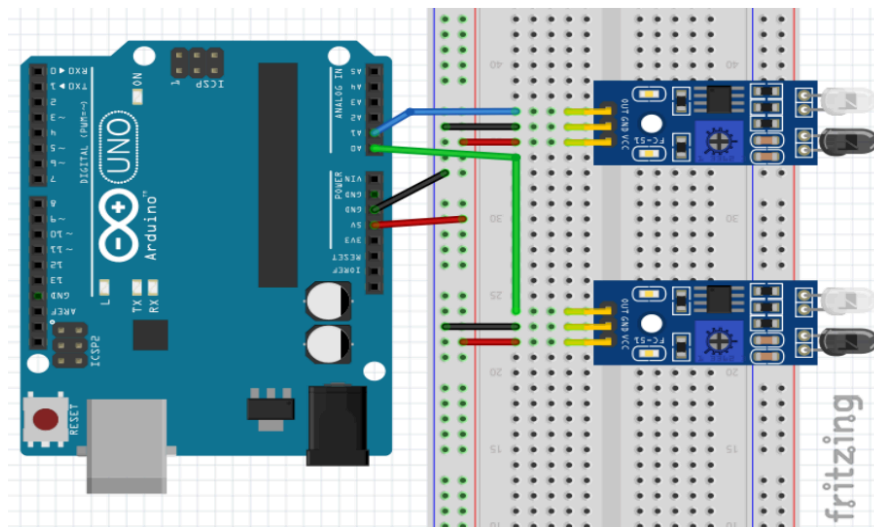
A intervenção pedagógica foi realizada com 24 estudantes da 2ª série do Ensino Médio de uma escola privada localizada na cidade de São Paulo. A atividade ocorreu durante duas aulas consecutivas de 100 minutos no laboratório *maker* da instituição, caracterizando-se como uma intervenção de abordagem qualitativa fundamentada no Ensino de Ciências por Investigação [Carvalho 2013] e na Computação Física [Freitas, Pires e Pessoa 2025].

A proposta foi estruturada de forma interdisciplinar, integrando os currículos de Ciências da Natureza e Computação. O objetivo central foi deslocar os estudantes da posição de observadores passivos de um fenômeno para a de agentes ativos no processo investigativo, por meio da implementação de uma Sequência de Ensino Investigativa (SEI), na qual os alunos precisaram exercer sua agência epistêmica para investigar e resolver um problema real [Carvalho 2013; Fernandez et al. 2024].

A intervenção iniciou-se com a proposição de um problema experimental contextualizado: dada uma rampa curva com uma altura conhecida em relação ao chão, os alunos precisavam prever matematicamente a distância horizontal exata (ponto  $x$ ) em que uma pequena esfera aterrissaria após ser lançada do topo da rampa. Para resolver as equações de lançamento de projéteis e posicionar o alvo no chão, os estudantes necessitavam descobrir a velocidade horizontal inicial da esfera.

Em consonância com o ensino investigativo, o professor não forneceu esse dado nem a solução prévia, mas dividiu a classe em pequenos grupos e lançou um desafio: os próprios estudantes precisariam projetar, montar e programar o velocímetro digital para extrair a velocidade real [Carvalho 2013]. Cabe ressaltar que, no ano anterior, esta turma já havia construído um velocímetro para outra atividade, por isso, não é estranho que tenham pensado justamente neste artefato. Na Figura 1 é possível verificar o esquemático eletrônico do aparato experimental.

Para a construção do instrumento de medição, os grupos utilizaram a plataforma de prototipagem eletrônica Arduino UNO aliada a dois sensores infravermelhos, caracterizando o uso da Computação Física para promover a interação entre o mundo real e o virtual e facilitar a compreensão de conceitos abstratos [Freitas, Pires e Pessoa 2025]. Os sensores foram fixados na extremidade da rampa em pontos sucessivos, separados por uma distância conhecida de 4 cm.



**Figura 1. Esquema de ligações do Velocímetro**

Esse processo exigiu dos estudantes a passagem fundamental da "ação manipulativa" (a montagem eletrônica do circuito) para a "ação intelectual", que se concentrou no desenvolvimento do pensamento computacional estruturado na elaboração do código em linguagem C++ [Carvalho 2013; Wing 2006].

Embora a atividade tenha sido realizada em grupos, a troca de ideias entre eles foi permitida e estimulada. Chegaram, por iniciativa própria, a uma solução comum que rapidamente foi compartilhada entre as equipes. Na programação do microcontrolador, os alunos conectaram os sensores às portas analógicas (A0 e A1) e estabeleceram a constante da distância espacial através do comando `#define DISTANCIA_CM 4`.

Ao utilizarem a função `analogRead()` para a coleta de dados, os estudantes depararam-se com a necessidade de investigar os valores crus emitidos pelos sensores e estabelecer um limiar numérico condicional (um *threshold*, estipulado para valores menores que 500) para que o sistema diferenciasse o estado de repouso do exato momento em que a esfera bloqueava o feixe de luz.

A abstração computacional crucial para a resolução do problema investigativo foi a utilização da função `millis()`, nativa do Arduino, que retorna o tempo em milissegundos desde que a placa foi ligada. A lógica estruturada consistiu em utilizar estruturas condicionais (*if*) combinadas ao limiar de luminosidade para registrar os eventos. Quando a leitura analógica do primeiro sensor caía abaixo de 500, indicando a passagem da esfera, o código capturava o tempo inicial (`tempo1 = millis()`).

Em seguida, quando o segundo sensor era acionado sob a mesma condição, o tempo final era registrado (`tempo2 = millis()`). De posse dessas variáveis, os alunos programaram o Arduino para realizar os cálculos da cinemática. O código encontrava a diferença de tempo, convertia para segundos e calculava a velocidade dividindo a distância entre os sensores pelo tempo decorrido, imprimindo o resultado no monitor serial. Na Figura 2 é possível verificar um exemplo de código de programação utilizado no aparato experimental.

```
#define SENSOR1 A0 // Primeiro sensor infravermelho
#define SENSOR2 A1 // Segundo sensor infravermelho
#define DISTANCIA_CM 4 // Distância entre os sensores em cm

unsigned long tempo1 = 0;
unsigned long tempo2 = 0;
bool passouSensor1 = false;
bool passouSensor2 = false;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(SENSOR1, INPUT);
  pinMode(SENSOR2, INPUT);
}

void loop() {
  int estadoSensor1 = analogRead(SENSOR1);
  int estadoSensor2 = analogRead(SENSOR2);

  if (estadoSensor1 < 500 && !passouSensor1) { // Sensor detecta a passagem
    tempo1 = millis(); // Registra o tempo em que o primeiro sensor foi ativado
    passouSensor1 = true;
  }

  if (estadoSensor2 < 500 && passouSensor1 && !passouSensor2) { // O segundo sensor detecta a passagem
    tempo2 = millis(); // Registra o tempo do segundo sensor
    passouSensor2 = true;
  }

  // Calcula o tempo decorrido (em segundos)
  float tempoDecorrido = (tempo2 - tempo1) / 1000.0;

  // Calcula a velocidade (cm/s)
  float velocidade = DISTANCIA_CM / tempoDecorrido;

  Serial.print("Velocidade: ");
  Serial.print(velocidade);
  Serial.println(" cm/s");

  // Reseta os estados para uma nova medição
  delay(1000); // Pequena pausa para evitar leituras falsas
  passouSensor1 = false;
  passouSensor2 = false;
}
```

Figura 2. Exemplo de Código Utilizado no Velocímetro

Com a velocidade horizontal inicial em mãos, extraída a partir da sua própria ferramenta, os grupos aplicaram o modelo matemático do lançamento de projéteis. O ponto culminante da sistematização do conhecimento ocorreu por meio de uma dinâmica de avaliação desenhada para elevar o rigor científico através da gamificação [Carvalho 2013]. Emulando cenários reais da ciência, onde os profissionais lidam com a incerteza e a tomada de decisão sob risco, foi estabelecida a regra da "tentativa única".

Os dados discutidos neste relato foram obtidos por meio de observação direta da atividade, registros das interações entre os grupos e análise das produções desenvolvidas pelos estudantes durante a resolução do problema investigativo. As imagens utilizadas neste relato foram capturadas sem identificação dos estudantes, preservando seu anonimato. Cada grupo tinha o direito de posicionar o seu alvo no chão e soltar a esfera pela rampa apenas uma vez. Se a montagem estivesse correta, o código livre de falhas, o cálculo preciso e a esfera acertasse o alvo, o grupo recebia a nota integral.

Caso houvesse erro em qualquer uma das etapas, a nota sofria decréscimos. Assim, os alunos sentiram a necessidade de revisar a lógica de programação e refazer os cálculos repetidas vezes para garantir que suas hipóteses sobreviveriam ao teste prático rigoroso [Carvalho 2013]. Na Figura 3 é possível verificar como os valores das velocidades aparecem no monitor serial da IDE do Arduino.

```
Saída Monitor Serial X
Mensagem (Arduino Uno + Enter para enviar mensagem para 'COM4' em '{2}')
Velocidade = 101 cm/s
Velocidade = 105 cm/s
Velocidade = 102 cm/s
Velocidade = 108 cm/s
Velocidade = 105 cm/s
```

Figura 3. Velocidades Medidas no Monitor Serial

#### 4. Resultados e Discussões

A aplicação da Sequência de Ensino Investigativa revelou resultados altamente positivos tanto no aspecto da aprendizagem conceitual de Ciências da Natureza quanto no desenvolvimento de competências computacionais e socioemocionais. A etapa de aplicação do conhecimento culminou no momento prático em que os alunos testaram suas hipóteses na rampa de lançamento. Na prática, os grupos liberaram a esfera pela estrutura e, por meio do código estruturado no microcontrolador, observaram a velocidade horizontal inicial sendo impressa em tempo real no monitor serial do computador.

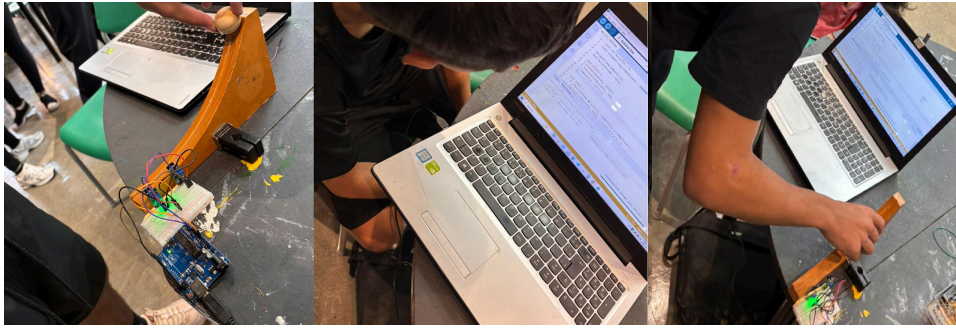
Em seguida, utilizando uma trena, os estudantes mediram a altura exata da mesa em relação ao chão. De posse dessas duas variáveis cruciais (velocidade horizontal e altura da queda), eles aplicaram as equações da cinemática para calcular a distância horizontal exata em que a esfera aterrissaria, posicionando o alvo de papel no local previsto.

Um fator determinante para a fluidez e o sucesso dessa atividade foi o contexto educacional prévio dos estudantes. Por estarem inseridos em uma escola onde a cultura *maker* faz parte da grade curricular desde os anos iniciais, os alunos da 2ª série do Ensino Médio já possuíam alta familiaridade com eletrônica e programação em Arduino. Essa fluência tecnológica corrobora a premissa de que o Pensamento Computacional deve ser uma competência desenvolvida de forma contínua e integrada [SBC 2019; Wing 2006].

Com o domínio prévio das ferramentas de prototipagem, a carga cognitiva da atividade não foi sobrecarregada, permitindo que o foco intelectual dos grupos estivesse totalmente voltado para a articulação da lógica de programação com a investigação do fenômeno, consolidando o microcontrolador como um autêntico "artefato para pensar" [Papert 1980].

Para obterem êxito na dinâmica, o resultado esperado consistia na correta mobilização das equações da cinemática clássica aplicadas aos dados reais do experimento. Considerando a configuração física da sala, em que a altura da mesa ( $h$ ) medida com a trena era de 80 cm e a velocidade horizontal inicial ( $v$ ) capturada pelo Arduino foi de aproximadamente 100 cm/s, os grupos precisaram lidar com a conversão de unidades durante os cálculos, já que a equação do tempo de queda utiliza a aceleração da gravidade expressa em m/s.

Adotando a aceleração da gravidade local como, aproximadamente,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , esperava-se que aplicassem a equação do movimento uniformemente acelerado na direção vertical, isolando o tempo ( $t = \sqrt{2h/g}$ ), chegando a um tempo de voo de aproximadamente 0,4 segundos. Por fim, a distância horizontal exata ( $D$ ) para o posicionamento do alvo deveria ser encontrada pelo produto entre a velocidade e o tempo ( $D = v \cdot t$ ), o que exigia que os alunos posicionassem o centro do alvo a 40 cm de distância da base da mesa. A observação desse processo confirmou que a necessidade de acertar o alvo na prática impulsionou os alunos a revisarem suas abstrações matemáticas com muito mais rigor do que fariam em uma lista de exercícios tradicional. Na Figura 4 é possível verificar os estudantes realizando o experimento no laboratório da instituição.



**Figura 4: Estudantes realizando o experimento de lançamento da esfera**

A dinâmica exigiu um alto nível de agência epistêmica, evidenciado pela autonomia na resolução do problema [Fernandez et al. 2024]. Na turma analisada, composta por quatro grupos de estudantes, observou-se que dois conseguiram realizar todas as etapas do desafio investigativo de forma totalmente autônoma, sem qualquer necessidade de intervenção docente. Os outros dois grupos enfrentaram obstáculos pontuais, o que proporcionou momentos ricos de aprendizagem baseada no erro. Um dos grupos apresentou dificuldades na estruturação do código, especificamente na lógica das condicionais utilizadas para capturar a diferença de tempo (*millis()*) com precisão. O outro grupo conseguiu extrair a velocidade corretamente no computador, mas cometeu equívocos matemáticos na aplicação da equação para prever o ponto de aterrissagem.

Nesses momentos, a atuação do professor foi estritamente mediadora, alinhada aos princípios do Ensino de Ciências por Investigação [Carvalho 2013]. Em vez de fornecer as respostas prontas, o docente ofereceu dicas e questionamentos reflexivos, forçando os alunos a praticarem a depuração (debugging) de seus códigos e cálculos [Papert 1980]. Cabe destacar, contudo, que esse processo não ocorreu sem dificuldades: a definição empírica do valor de *threshold* gerou leituras inconsistentes em algumas tentativas iniciais, exigindo testes repetidos até a estabilização da detecção; além disso, observou-se em parte dos grupos uma tendência inicial a confiar excessivamente no primeiro resultado fornecido pelo monitor serial, sem questionar possíveis fontes de erro na medição. Apesar desses obstáculos, a mediação docente permitiu que todos os quatro grupos revisassem suas variáveis, corrigissem as falhas e posicionassem seus alvos no chão. Em discussão posterior, o professor perguntou por que os estudantes não utilizaram sensores digitais, uma vez que estes dispensariam a leitura analógica via *analogRead()* e a definição empírica do limiar numérico (*threshold*), retornando diretamente um sinal binário de presença ou ausência da esfera e simplificando significativamente a lógica do código. Os estudantes relataram que não se lembravam do procedimento para essa configuração.

O momento de maior engajamento da aula ocorreu durante a validação empírica regida pela regra gamificada da “tentativa única”. Dos quatro grupos participantes, todos obtiveram sucesso, acertando o alvo na primeira e única chance de soltar a esfera pela rampa. A reação imediata dos estudantes foi de comemoração e animação. Cabe ressaltar que esse êxito ocorreu apesar das incertezas inerentes ao aparato construído: a função *millis()* opera com resolução de milissegundos, e a leitura via *analogRead()* combinada ao *threshold* manual introduz pequenas variações no instante exato de detecção da esfera, conforme evidenciado pela dispersão das velocidades registradas no

monitor serial (entre 101 e 108 cm/s, ver Figura 3). Tais limitações técnicas, somadas à variabilidade do lançamento manual pela rampa, configuram precisamente o tipo de imprevisibilidade característico do fazer científico real. O fato de terem apenas uma chance para testar o modelo físico-matemático gerou um cenário de tensão produtiva que emula a realidade de uma sociedade de risco [Pietrocola, Schnorr e Rodrigues 2025]. Deste modo, a construção deixou de ser um fim em si mesma e tornou-se o meio autêntico pelo qual eles investigaram, mensuraram e compreenderam as leis da cinemática.

## 5. Considerações Finais

Este relato de experiência evidenciou que a integração da Educação *Maker* e da Computação Física possui um grande potencial transformador para o ensino de Ciências na Educação Básica, especialmente quando fundamentada no Ensino por Investigação [Carvalho 2013]. Ao deslocar a tecnologia da posição de um fim em si mesma para a de um meio investigativo, a atividade superou a superficialidade do "fazer pelo fazer". A construção do velocímetro deixou de ser apenas um exercício de montagem eletrônica e tornou-se a condição estrutural necessária para que os estudantes resolvessem um problema complexo de cinemática, garantindo a passagem fundamental da ação manipulativa para a ação intelectual [Carvalho 2013].

O microcontrolador funcionou como um autêntico "artefato para pensar" [Papert 1980], permitindo aos estudantes materializarem a abstração computacional do tempo e do espaço, transformando dados empíricos em validação científica. Além disso, a dinâmica de gamificação baseada em uma "tentativa única" de lançamento emulou o rigor inerente ao fazer científico, provando ser um mecanismo eficaz para promover o engajamento, a resiliência e a prática rigorosa da depuração diante de cenários de incerteza e risco [Pietrocola, Schnorr e Rodrigues 2025].

Destaca-se, também, que o sucesso da intervenção foi potencializado pela fluência tecnológica prévia dos estudantes, fruto de um currículo escolar que integra a cultura *maker* longitudinalmente. Esse cenário reforça as diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação (SBC) e os pressupostos do Pensamento Computacional, reiterando que essa competência deve ser desenvolvida de forma contínua e integrada para a formulação de soluções ao longo da Educação Básica [SBC 2019; Wing 2006].

Por fim, conclui-se que o uso de microcontroladores e sensores, aliado a sequências de ensino investigativas, fomenta a agência epistêmica dos estudantes [Fernandez et al. 2024], tirando-os da postura de meros consumidores de demonstrações laboratoriais para torná-los produtores ativos de instrumentos e de conhecimento científico. Reconhece-se, contudo, que a replicação desta proposta em escolas sem cultura *maker* consolidada exigiria adaptações estruturais relevantes, como a inserção de etapas prévias de familiarização com prototipagem eletrônica e programação básica em Arduino, sob risco de a sobrecarga cognitiva inicial comprometer o foco investigativo da atividade. Trabalhos futuros poderão investigar tanto a expansão deste modelo para outras disciplinas das Ciências da Natureza quanto métodos de replicação adaptada em escolas da rede pública em fase inicial de adoção de espaços *maker*.

## **Declaração sobre uso de Inteligência Artificial**

Em conformidade com o Código de Conduta para autores da SBC, declara-se que, na elaboração deste artigo, foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial generativa NotebookLM (Google) exclusivamente para a organização das referências bibliográficas e correção ortográfica. A ferramenta não foi empregada na redação do texto, na geração de tabelas, figuras ou citações, nem na tradução, reescrita ou paráfrase de trechos autorais.

## **Referências**

- Anderson, C. (2012) *Makers: The New Industrial Revolution*. Nova York: Crown Business.
- Blikstein, P., Valente, J. A. and Moura, É. M. de (2020) “Educação Maker: Onde está o currículo?”, *Revista e-Curriculum*, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 523-544.
- Carvalho, A. M. P. de (Org.). (2013) *Ensino de Ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula*. São Paulo: Cengage Learning.
- Fernandez, C., Hochgreb-Haegele, T., Eloy, A. and Blikstein, P. (2023) “Beyond 'having fun' as evidence of learning: A longitudinal case study of a teacher's evolving conception of hands-on science activities”, *Journal of Science Education and Technology*, 32, p. 241–255.
- Fernandez, C., Hochgreb-Haegele, T., Eloy, A. and Blikstein, P. (2024) “Making for science: a framework for the design of physical materials for science learning”, *Educational Technology Research and Development*, 72, p. 59–82.
- Freitas, M. L. P. de, Pires, F. and Pessoa, M. (2025) “Uso de Computação Física para desenvolvimento de Pensamento Computacional: um estudo de caso”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.
- Gavassa, R. C. F. B. (2020) “Educação Maker: Muito mais que papel e cola”, *Tecnologias, Sociedade e Conhecimento*, v. 7, n. 2, p. 33-48.
- Hemann, L. V. and Bulegon, A. M. (2025) “Microcontroladores, sensores e atuadores no estudo de Circuitos Elétricos e Espectro Eletromagnético: Projetos de Robótica Educacional no ensino Médio”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.
- Linhais, F., Polastri, P. C. and dos Reis, J. C. (2025) “Aprendizagem Criativa como Arcabouço Pedagógico para o Uso da Inteligência Artificial Generativa no Ensino Básico”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.
- Papert, S. (1980) *Mindstorms: children, computers, and powerful ideas*. Nova York: Basic Books.
- Pereira, R. da S. and Santos, F. D. (2025) “A metodologia de aprendizagem baseada em projetos aplicada à construção da atividade de prototipação de catapultas medievais em um espaço maker”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.

- Pietrocola, M., Schnorr, S. and Rodrigues, E. (2025) “Science Education in a Risk Society: Addressing Challenges and Opportunities in an Uncertain Future”, *Research in Science Education*, 55, p. 941–960.
- Ramos, N. F., Mendonça, E. de A., Melo, J. P. P. and Trindade, G. M. (2025) “Robótica Educacional e o Ensino de Computação em Práticas Interdisciplinares Baseadas na Abordagem STEAM em um Espaço Não-Formal”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.
- SBC (2019) *Diretrizes da Sociedade Brasileira de Computação para o Ensino de Computação na Educação Básica*. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação.
- Silva, L. F. L. da, Lima Filho, E. B. de, Leitão, Y. S. de C., Rodrigues, R. L. and Falcão, T. P. (2025) “Um Relato de Experiência sobre Conceitos de Robótica com Arduino: Analisando uma Abordagem Apoiada na Aprendizagem Baseada em Projetos”, In: *Anais do XXXI Workshop de Informática na Escola (WIE)*. SBC.
- Wing, J. M. (2006) “Computational thinking”, *Communications of the ACM*, 49(3), p. 33-35.