



UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CHAPECÓ
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM MATEMÁTICA EM REDE
NACIONAL - PROFMAT

SAMUEL DA SILVA MARQUES

ROBÓTICA EDUCACIONAL E MODELAGEM MATEMÁTICA:
TEORIA E PRÁTICA ATRAVÉS DA INSTRUÇÃO POR COLEGAS

CHAPECÓ-SC

2026

SAMUEL DA SILVA MARQUES

**ROBÓTICA EDUCACIONAL E MODELAGEM MATEMÁTICA:
TEORIA E PRÁTICA ATRAVÉS DA INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional, da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito para obtenção do título de Mestre em Matemática, área de Concentração: Matemática na Educação Básica, sob a orientação do(a) Prof. Dr. Milton Kist

Orientador(a): Prof. Dr. Milton Kist

CHAPECÓ-SC

2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Marques, Samuel da Silva

ROBÓTICA EDUCACIONAL E MODELAGEM MATEMÁTICA: TEORIA E PRÁTICA ATRAVÉS DA INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS / Samuel da Silva Marques. -- 2026.

83 f.

Orientador: Prof. Dr. Milton Kist

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Programa de Pós-Graduação Profissional em Matemática em Rede Nacional, Chapecó, SC, 2026.

1. Robótica Educacional. 2. Modelagem Matemática. 3. Lançamento parabólico de projéteis. 4. Instrução pelos Colegas. I. Kist, Milton, orient. II. Universidade Federal da Fronteira Sul. III. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

SAMUEL DA SILVA MARQUES

**ROBÓTICA EDUCACIONAL E MODELAGEM MATEMÁTICA:
TEORIA E PRÁTICA ATRAVÉS DA INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional da Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS como requisito para obtenção do título de Mestre em Matemática, área de Concentração: Matemática na Educação Básica, sob a orientação do(a) Prof. ^a Dr.^a Milton Kist.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 13/03/2026.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente



MILTON KIST

Data: 31/03/2026 10:02:03-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Milton Kist – UFFS
Orientador

Documento assinado digitalmente



ANA PAULA FREITAS VILELA BOAVENTURA

Data: 01/04/2026 10:05:20-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Ana Paula Freitas Vilela Boaventura – UFJ
Avaliador externo

Documento assinado digitalmente



JANICE TERESINHA REICHERT

Data: 01/04/2026 23:47:56-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Janice Teresinha Reichert – UFFS
Avaliador

Dedico a todos que lutam por uma sociedade
mais justa e humana.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pois se não fosse a Tua vontade, nada disso seria possível.

A minha família pelo apoio e motivação.

Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo.

Aos professores, por sua dedicação, paciência e profissionalismo.

À CAPES pela recomendação do PROFMAT por meio do parecer do Conselho Técnico Científico da Educação Superior e pelo incentivo financeiro.

À Sociedade Brasileira de Matemática que na busca da melhoria do ensino de Matemática na Educação Básica viabilizou a implementação do PROFMAT.

A filosofia está escrita neste grande livro, o universo, que permanece continuamente aberto diante dos nossos olhos. Mas não se pode entendê-lo até que se aprenda a linguagem e se familiarize com os caracteres nos quais está escrito. Os caracteres desta linguagem são triângulos, círculos e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível entender uma só palavra; sem esses, vagamos perdidos em um escuro labirinto (GALILEI, 1957, p. 4).

RESUMO

Este trabalho apresenta uma experiência de ensino de matemática e física no ensino médio, mediadas pela robótica educacional, noções de modelagem e a metodologia da instrução por colegas. O objetivo central foi introduzir conceitos básicos de robótica, bem como a Modelagem Matemática de fenômenos naturais, mais especificamente o lançamento parabólico de projéteis, utilizando ferramentas computacionais como o *TinkerCAD*, o *Tracker* e a prototipagem com Arduino, em uma turma de Ensino Médio da rede pública estadual de Santa Catarina. Inicialmente, aplicou-se um questionário diagnóstico com questões envolvendo conceitos de matemática e física associados ao lançamento de projéteis, bem como concepções e impressões relacionadas a modelos matemáticos e robótica educacional. Realizaram-se oficinas envolvendo testes conceituais, Modelagem Matemática, programação e prototipagem. Foram avaliadas as percepções dos alunos sobre as atividades e a efetividade da metodologia da Instrução pelos Colegas na aquisição das habilidades previstas na Base Nacional Comum Curricular. Os resultados indicam ganhos de aprendizagem e percepções positivas dos alunos, evidenciados pelo aumento da frequência relativa de acertos no questionário pós-intervenção, pelo ganho normalizado obtido e pelas respostas qualitativas que destacaram maior engajamento, interesse pelas aulas e valorização do trabalho colaborativo. Ainda que os avanços conceituais tenham se mostrado moderados, observou-se evolução na capacidade de interpretação de gráficos, análise de dados experimentais e articulação entre modelo teórico e fenômeno observado. Esses elementos sugerem que a abordagem adotada constitui uma alternativa viável e relevante para o ensino de Física e Matemática no Ensino Médio.

Palavras-chave: Robótica educacional; Modelagem matemática; Lançamento parabólico de projéteis; Instrução pelos Colegas.

ABSTRACT

This work presents an experience of teaching mathematics and physics in high school, mediated by educational robotics, notions of modeling, and the peer instruction methodology. The main objective was to introduce basic robotics concepts, as well as Mathematical Modeling of natural phenomena, more specifically the parabolic launch of projectiles, using computational tools such as TinkerCAD, Tracker, and prototyping with Arduino, in a high school class from the state public network of Santa Catarina. Initially, a diagnostic questionnaire was applied with questions involving concepts of mathematics and physics related to the launch of projectiles, as well as conceptions and impressions related to mathematical models and educational robotics. Workshops were carried out involving conceptual tests, Mathematical Modeling, programming, and prototyping. Students' perceptions of the activities and the effectiveness of the Peer Instruction methodology in acquiring the skills outlined in the National Common Curricular Base were evaluated. The results indicate learning gains and positive student perceptions, evidenced by the increased relative frequency of correct answers in the post-intervention questionnaire, the normalized gain obtained, and qualitative responses highlighting greater engagement, interest in the classes, and appreciation of collaborative work. Although conceptual advances were moderate, there was observed progress in the ability to interpret graphs, analyze experimental data, and connect theoretical models with observed phenomena. These elements suggest that the adopted approach constitutes a viable and relevant alternative for teaching Physics and Mathematics in High School.

Keywords: Educational robotics; Mathematical modeling; Parabolic launch of projectiles; Peer Instruction.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama do movimento do projétil na revista 'The Mariners Magazine. 5: Mathematical and Practical Arts' de Samuel Sturmy, publicado em 1669.	17
Figura 2 – Duas bolas de golfe em queda livre.	18
Figura 3 – Eric Mazur mostra a aprendizagem interativa com a instrução por colegas.	23
Figura 4 – Projétil disparado contra o alvo em queda livre.	24
Figura 5 – Componentes da velocidade v .	44
Gráfico 1 – Teste conceitual 1, alternativa correta: B.	45
Gráfico 2 – Teste conceitual 2, alternativa correta: C.	46
Gráfico 3 – Teste conceitual 3, alternativa correta: D.	47
Figura 6 – Interface no Tracker.	49
Figura 7 – Detalhe da marcação do frame inicial e da tabela gerada pelo Tracker.	50
Figura 8 – Print de tela do Geogebra.	51
Figura 9 – Configuração inicial da aplicação “Lançador”.	54
Figura 10 – Interface do usuário (monitor serial).	56
Figura 11 – Interface da simulação “Movimento do Projétil”.	57
Gráfico 4 – Comparativo entre e questionários inicial e final.	58
Gráfico 5 – Taxas de acertos no diagnóstico e final para cada questão.	59
Gráfico 6 – Diagramas (boxplot) para o desempenho no diagnóstico e final.	62
Gráfico 7 – Distribuição dos níveis de concordância nas questões sobre trabalho em grupo e Instrução por colegas.	65
Gráfico 8 – Distribuição dos níveis de concordância nas questões sobre engajamento, interesse e motivação dos alunos.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aulas por atividade.	35
Tabela 2 – Resultado questionário diagnóstico (parte conceitual objetiva).	39
Tabela 3 – Resultado questionário diagnóstico (parte qualitativa).	40
Tabela 4 – Taxa de acertos por questão e ganho normalizado.	59
Tabela 5 – Taxa de acertos por aluno.	61
Tabela 6 – Respostas às questões de robótica e aprendizagem conceitual.	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC Base Nacional Comum Curricular

K-12 Termo utilizado em sistemas educacionais como o dos Estados Unidos para se referir a educação pré universitária

PI Peer Instruction

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA	16
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 EVOLUÇÃO DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS	17
2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS	19
2.3 ROBÓTICA EDUCACIONAL E SIMULAÇÕES NO CONTEXTO EDUCATIVO	21
2.4 INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS E TESTES CONCEITUAIS	23
3 REVISÃO DE LITERATURA	27
4 METODOLOGIA	33
4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA	34
4.2 PROCEDIMENTOS DA INTERVENÇÃO DIDÁTICA	35
4.3 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS	36
5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS	37
5.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	37
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA TURMA DE APLICAÇÃO	38
5.3 ANÁLISE DAS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS	41
5.3.1 Considerações sobre o protocolo de instrução por colegas adotado	41
5.3.2 Testes conceituais	42
5.3.3 Oficina de lançamento de projéteis	48
5.3.4 Análise do questionário final	57
5.3.4.1 Questões com ganho negativo	60
5.3.4.2 Questões com ganho positivo	60
5.3.4.3 Análise do desempenho geral por aluno	61
5.3.4.4 Análise das questões de percepção e questão aberta	63
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, o avanço das tecnologias digitais e as transformações sociais têm imposto novos desafios ao processo de ensino e aprendizagem. A presença constante de recursos tecnológicos no cotidiano dos alunos demanda práticas pedagógicas que ultrapassem abordagens tradicionais, favorecendo metodologias que promovam maior engajamento, participação ativa e construção significativa do conhecimento.

Nesse contexto, Valente (2014) e Moran (2018) apontam que a integração entre tecnologias educacionais e metodologias ativas pode contribuir para aprendizagens mais contextualizadas e significativas. Além disso, a crescente demanda por estratégias que articulem teoria e prática está associada à necessidade de promover a participação ativa dos alunos no processo de aprendizagem.

Sob essa perspectiva, Mazur (1997) mostra que metodologias que incentivam a investigação, a discussão e a resolução colaborativa de problemas têm se mostrado eficazes para favorecer a compreensão conceitual, especialmente em áreas como a Física e a Matemática. Considerando esse movimento de renovação das práticas pedagógicas, o presente trabalho tem como foco central a elaboração, implementação e análise de um produto educacional que utiliza robótica educacional e Modelagem Matemática para abordar conceitos clássicos da Física, em especial o movimento parabólico.

A escolha da metodologia de *Instrução pelos Colegas* é uma metodologia que permite que grupos de alunos colaborem na solução de problemas e desenvolvimento de atividades investigativas. Essa abordagem não apenas favorece a aprendizagem de conceitos específicos, mas também promove maior engajamento cognitivo dos alunos.

De acordo com Crouch e Mazur (2001, p. 970), o *Peer Instruction* (termo em inglês para a metodologia da Instrução pelos Colegas) “[...] envolve os alunos durante a aula por meio de atividades que exigem que cada aluno aplique os conceitos principais que estão sendo apresentados e, em seguida, explique esses conceitos aos seus colegas”. Nessa perspectiva, a participação ativa e a discussão entre pares constituem elementos centrais para a melhoria da compreensão conceitual, especialmente em tópicos que tradicionalmente apresentam maior dificuldade para os alunos.

A motivação principal que levou a elaboração deste trabalho foram as dificuldades observadas durante as aulas de física ministradas ao longo dos anos pelo professor-pesquisador, principalmente da parte conceitual. Os alunos, muitas vezes, conseguem resolver alguns problemas (que geralmente são apenas exercícios), mas aplicando apenas um raciocínio lógico raso, sem desenvolver compreensão conceitual.

Baseado em outras experiências do professor-pesquisador na Educação Básica, a metodologia da Instrução pelos Colegas, se mostrou potencialmente eficaz em minimizar lacunas de compreensão conceitual dos alunos. Além disso, a possibilidade de utilizar modelagem matemática e a robótica educacional, como estratégias de ensino, permite a materialização de conceitos muitas vezes excessivamente abstratos em aulas tradicionais.

Para realizar este trabalho, foi elaborado um recurso educacional, que consiste em uma sequência didática voltada para o Ensino Médio com a temática do lançamento de projéteis e metodologia da Instrução pelos Colegas, acompanhada por instruções para construção e uso um protótipo didático virtual baseado em arduíno capaz de simular ângulos relacionados ao lançamento de projéteis. Essa solução tem como objetivo alinhar teoria e prática, promovendo uma experiência interdisciplinar em sala de aula.

O recurso foi aplicado em uma turma de 3º ano do ensino médio de uma escola pública estadual de Santa Catarina, no contexto das aulas da disciplina de Física, abordando a temática do lançamento de projéteis, que entre outros conceitos, envolve solução de equações de 1º e 2º grau, além da compreensão conceitual de como esse tipo de movimento pode ser descrito.

Desta forma, os objetivos e o problema de pesquisa do nosso trabalho ficaram definidos como:

1.1 OBJETIVOS

Objetivo Geral:

Elaborar, implementar e avaliar o impacto de uma estratégia didática baseada na Modelagem Matemática, robótica educacional e Instrução pelos Colegas para a aprendizagem conceitual de lançamento de projéteis no Ensino Médio.

Objetivos Específicos:

- Diagnosticar concepções prévias dos alunos sobre lançamento de projéteis;
- Promover uma oficina didática com robótica e modelagem em grupos heterogêneos;
- Comparar a compreensão dos alunos antes e depois da intervenção;
- Avaliar a compreensão dos conceitos de física e matemática envolvidos;
- Investigar as percepções dos alunos sobre a proposta pedagógica

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A integração da robótica educacional e da Modelagem Matemática, aliada à metodologia de instrução por colegas, contribui no ensino e promoção da aprendizagem do lançamento de projéteis no Ensino Médio?

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No intuito de responder o problema de pesquisa e atingir os objetivos propostos, o trabalho está estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2 apresentamos as principais bases teóricas para o desenvolvimento deste trabalho, tais como a metodologia de Instrução pelos Colegas, a robótica educacional e a Modelagem Matemática como estratégia de ensino. No capítulo 3 apresentamos uma breve revisão de alguns trabalhos publicados nos últimos anos envolvendo pesquisas sobre a utilização de robótica educacional, Modelagem Matemática e principalmente a metodologia da Instrução pelos Colegas. No capítulo 4 apresentamos os procedimentos metodológicos adotados nesse trabalho, bem como as considerações éticas. Já no capítulo 5, descrevemos o nosso produto educacional e sua aplicação, bem como o perfil da turma, além de analisar o impacto das metodologias empregadas. Para finalizar, no capítulo 6 deixamos nossas considerações finais.

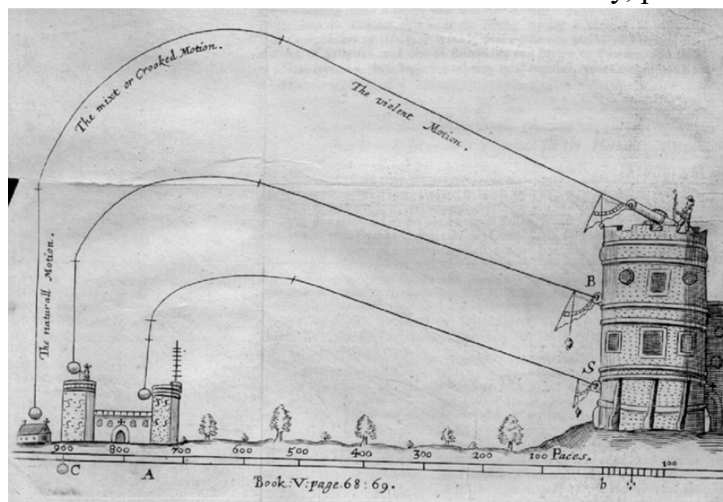
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 EVOLUÇÃO DO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS

O entendimento do movimento parabólico reflete a evolução das concepções científicas ao longo dos séculos. Durante a Antiguidade, os aristotélicos enfrentaram dificuldades em compreender esse fenômeno. Na visão de Aristóteles, todo movimento poderia ser explicado por causas imediatas, como uma força aplicada, sendo inconcebível a existência de movimentos independentes que poderiam compor o movimento parabólico, como o horizontal e o vertical. Essa interpretação qualitativa e fundamentada na interação constante com o meio persistiu como paradigma até o período renascentista.

A Figura 1 revela uma maneira de descrever o lançamento de projéteis que divide o movimento do corpo em ‘Movimento Violento’ que acontece logo após o disparo, à direita, ‘O movimento misto ou torto’ e ‘O movimento natural’, na vertical. Este último muito comum nas descrições de movimento baseadas na física aristotélica, pois segundo esta, se acreditava que as coisas tinham seu lugar natural, e o do projétil, como era mais “pesado” que o ar, era na terra (Walley, 2018). O conceito de gravidade ainda não era conhecido.

Figura 1 – Diagrama do movimento do projétil na revista 'The Mariners Magazine. 5: Mathematical and Practical Arts' de Samuel Sturmy, publicado em 1669.



Fonte: Walley (2018).

Ilustrações como essa eram encontradas em manuais que ajudavam os capitães de navios a usarem os canhões, por exemplo. Ou seja, os cientistas da época realmente acreditavam que os projéteis disparados seguiam essas trajetórias. Por mais absurdo que as

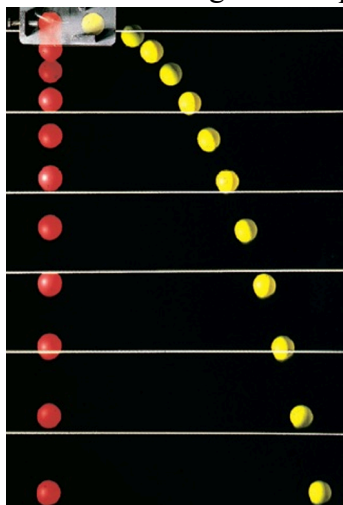
explicações aristotélicas do movimento parabólico de projéteis possa parecer no presente, os canhões ainda assim acertavam os alvos!

Foi com as contribuições de Galileu Galilei, no século XVII, que uma transformação fundamental ocorreu. Galileu introduziu o conceito de composição de movimentos, demonstrando que o movimento parabólico pode ser descrito pela combinação de um movimento uniforme na direção horizontal e um movimento uniformemente acelerado na direção vertical devido à gravidade. Esse marco inaugurou uma abordagem quantitativa, permitindo o uso da matemática para descrever o comportamento dos projéteis. Assim, o movimento, antes entendido em termos qualitativos e baseado em causas intuitivas, passou a ser analisado por meio de leis universais, transformando a própria compreensão dos fenômenos físicos (GALILEI, 1914; GONÇALVES, 2021).

Atualmente nos livros didáticos, lançamento parabólico é descrito como um movimento bidimensional composto por um movimento horizontal uniforme e um movimento vertical uniformemente acelerado, ambos ocorrendo de forma independente (HALLIDAY; RESNICK; WALKER, 2016).

É possível observar (Figura 2), em uma fotografia estroboscópica de duas bolas de golfe, em que uma delas foi deixada cair verticalmente enquanto a outra foi lançada horizontalmente por uma mola. Ambas as bolas apresentam o mesmo comportamento no movimento vertical, percorrendo distâncias iguais nesse eixo durante o mesmo intervalo de tempo. Isso mostra que o movimento horizontal de uma das bolas não interfere no seu movimento vertical, evidenciando a independência entre os movimentos nos dois eixos.

Figura 2 – Duas bolas de golfe em queda livre.



Fonte: Halliday; Resnick; Walker, (2016, p. 180).

Essa evolução do pensamento científico sobre o movimento dos projéteis evidencia que dificuldades conceituais semelhantes às enfrentadas pelos cientistas do passado ainda estão presentes no ensino contemporâneo, aspecto frequentemente discutido na literatura sobre ensino de Ciências. Muitas concepções intuitivas dos alunos, como a ideia de que o movimento horizontal interfere no movimento vertical, refletem visões pré-galileanas do movimento. Dessa forma, o estudo do lançamento de projéteis torna-se um campo fértil para a utilização de abordagens didáticas que promovam a reconstrução conceitual, apoiadas pela Matemática como ferramenta de formalização e análise (Faria, 2019).

2.2 MODELAGEM MATEMÁTICA APLICADA AO LANÇAMENTO DE PROJÉTEIS

A Modelagem Matemática desempenha um papel importante no ensino de matemática, pois tem a capacidade de transformar problemas da realidade em problemas matemáticos e resolvê-los por meio de teorias. Esse processo envolve abstração e generalização, permitindo que os alunos relacionem conceitos teóricos às situações práticas do mundo real.

De acordo com Bassanezi (2002), a modelagem não apenas simplifica a complexidade dos fenômenos representados, mas também oferece um poderoso instrumento educacional ao conectar a matemática ao cotidiano, tornando-a mais atraente e significativa para os alunos. Assim, essa abordagem favorece o desenvolvimento de competências críticas, criativas e interdisciplinares, alinhando-se às demandas de uma educação voltada para a resolução de problemas reais.

No caso do lançamento de projéteis, a Modelagem Matemática permite estabelecer relações funcionais entre grandezas físicas, como posição, velocidade e tempo, por meio de equações algébricas e representações gráficas. Esse processo não se limita à aplicação mecânica de fórmulas, mas envolve a construção, para Bassanezi (2002, p. 30), “Um bom modelo é aquele que tem capacidade de previsão de novos fatos ou relações insuspeitas”. Assim, a Matemática assume papel central não apenas como ferramenta de cálculo, mas como linguagem para interpretar e prever fenômenos físicos.

Uma das grandes vantagens da Modelagem Matemática está na sua capacidade de promover a aprendizagem ativa e investigativa, ao envolver os alunos em processos que articulam situações do mundo real e representações matemáticas. Diferentemente de

abordagens centradas apenas na aplicação de procedimentos, a modelagem favorece a problematização, a análise crítica e a interpretação dos resultados.

Nesse sentido, Bassanezi (2010, p. 17) define que “A Modelagem Matemática, em seus vários aspectos, é um processo que alia teoria e prática, motiva seu usuário na procura do entendimento da realidade que o cerca e na busca de meios para agir sobre ela e transformá-la”. Essa concepção evidencia que a modelagem não se limita à construção de modelos formais, mas constitui um ambiente de aprendizagem no qual o aluno é incentivado a investigar, levantar hipóteses e refletir sobre os fenômenos estudados.

Essa perspectiva fundamenta a proposta deste trabalho, que utiliza a Modelagem Matemática associada à robótica educacional e a ferramentas computacionais como estratégia para promover uma aprendizagem mais ativa, significativa e contextualizada no estudo do movimento parabólico. Ao envolver os alunos na formulação de problemas, definição de variáveis, elaboração de hipóteses e análise de resultados, cria-se um ambiente de ensino que estimula o pensamento crítico e a resolução de problemas. No caso do lançamento de projéteis, os alunos podem explorar, por exemplo, como diferentes valores de ângulo de lançamento ou condições iniciais afetam o alcance horizontal e a altura máxima do projétil.

Além disso, o uso de modelagem no ensino proporciona oportunidades de integração interdisciplinar. Enquanto os conceitos físicos são compreendidos e aplicados, as habilidades matemáticas, como resolução de sistemas de equações e análise gráfica, são reforçadas de forma contextualizada. A representação geométrica da trajetória parabólica também oferece um rico campo de análise que conecta física, álgebra e geometria analítica.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) orienta que o ensino de Matemática no Ensino Médio esteja voltado à interpretação de situações reais, à construção de modelos e à articulação entre diferentes representações matemáticas. Nesse sentido, o documento estabelece como competência específica que os alunos devem ser capazes de

[...] utilizar estratégias, conceitos, definições e procedimentos matemáticos para interpretar, construir modelos e resolver problemas em diversos contextos, analisando a plausibilidade dos resultados e a adequação das soluções propostas. (BRASIL, 2018, p. 531).

Essa diretriz evidencia a centralidade da modelagem como prática pedagógica, uma vez que a construção e a análise de modelos são explicitamente associadas à resolução de

problemas significativos. Além disso, a BNCC ressalta que o uso de tecnologias amplia as possibilidades de aprendizagem ao permitir que os alunos formulem, testem e validem conjecturas, fortalecendo processos de argumentação e compreensão conceitual, especialmente em contextos que envolvem fenômenos das Ciências da Natureza e do cotidiano escolar.

Complementarmente, a BNCC ainda destaca a importância do trabalho com diferentes registros de representação matemática, ao afirmar que é fundamental que os alunos sejam estimulados a “compreender e utilizar, com flexibilidade e precisão, diferentes registros de representação matemáticos (algébrico, geométrico, estatístico, computacional etc.), na busca de solução e comunicação de resultados de problemas” (BRASIL, 2018, p. 531). Essa orientação dialoga diretamente com propostas didáticas baseadas em modelagem e uso de tecnologias educacionais, nas quais gráficos, tabelas, expressões algébricas e simulações computacionais coexistem e se complementam na construção do conhecimento matemático.

No ensino médio, a aplicação da modelagem ao lançamento de projéteis pode ser potencializada por meio de ferramentas tecnológicas, como simuladores e softwares educacionais. A inclusão de simulações computacionais de fenômenos físicos e a robótica educacional, nesse caso, eleva ainda mais o potencial dessa abordagem, tornando a aprendizagem mais envolvente e prática. Dessa forma, os alunos conseguem visualizar em tempo real os resultados de suas previsões teóricas, avaliando a validade de seus modelos e ajustando-os conforme necessário.

2.3 ROBÓTICA EDUCACIONAL E SIMULAÇÕES NO CONTEXTO EDUCATIVO

A robótica educacional constitui um campo em expansão que articula tecnologia e educação com o objetivo de estimular habilidades cognitivas, tecnológicas e criativas nos alunos. Conforme apontam Noronha e Silva (2025), “a robótica educacional pode contribuir para o processo de ensino-aprendizagem devido à sua capacidade de engajamento, motivação e interdisciplinaridade”. Essa característica torna essa abordagem particularmente relevante no ensino de Física, uma vez que possibilita a aproximação entre conceitos teóricos e situações experimentais concretas.

Sob a perspectiva construcionista proposta por Papert (1980), a aprendizagem torna-se mais significativa quando o aluno participa ativamente de processos de exploração,

investigação e interação com objetos e representações que possibilitam a construção de sentidos. Para o autor,

[...] a aprendizagem ocorre de forma mais efetiva quando o aluno constrói algo que pode ser compartilhado com os outros, permitindo a reflexão sobre o que foi produzido e a troca de ideias em um contexto social. (PAPERT, 1980, p. 21, tradução nossa).

Nessa perspectiva, a interação com ambientes digitais, simulações computacionais, softwares educacionais e dispositivos robóticos pode favorecer a construção de significados, mesmo quando os alunos não são os responsáveis diretos pela construção dos artefatos. Ao acompanhar experimentos, analisar dados, levantar hipóteses e discutir resultados de forma colaborativa, os alunos assumem um papel ativo no processo de aprendizagem, alinhando-se aos princípios construcionistas e às metodologias ativas adotadas nesta pesquisa.

Entre as principais plataformas de robótica educacional utilizadas na educação está o Arduino, um sistema flexível e de custo acessível. Em estudos sobre o uso de tecnologias educacionais, Moreira et al. (2018, p. 3) afirmam que “o Arduino tem se mostrado como uma tecnologia versátil e de simples utilização por professores e alunos, por ser uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar, e com um custo relativamente baixo”.

Essa versatilidade torna o Arduino especialmente útil no ensino de Física experimental, pois possibilita a construção de dispositivos didáticos que permitem explorar conceitos como movimento linear, queda livre e trajetórias parabólicas em situações reais de sala de aula. Ao aproximar os alunos de experimentos que articulam concretamente fenômenos físicos e suas representações matemáticas, o uso do Arduino favorece a integração entre teoria e prática, elemento central desta pesquisa.

Além disso, simuladores interativos, como os desenvolvidos pelo projeto *PhET Interactive Simulations*, possibilitam que os alunos explorem conceitos físicos de forma intuitiva, testando hipóteses e observando imediatamente os efeitos das alterações nos parâmetros do sistema. De acordo com Perkins et al. (2006), essas simulações favorecem a construção de modelos mentais mais consistentes, especialmente quando utilizadas em conjunto com atividades investigativas e discussões orientadas.

A utilização de simulações computacionais, nesse contexto, amplia significativamente as possibilidades de aplicação da Modelagem Matemática. Essa abordagem permite que os alunos confrontem previsões teóricas com dados reais, favorecendo a análise de discrepâncias entre o modelo idealizado e o comportamento observado. Esse confronto contribui para a compreensão dos limites dos modelos matemáticos, além de estimular a reflexão sobre variáveis não consideradas inicialmente, como resistência do ar e imprecisões experimentais.

2.4 INSTRUÇÃO PELOS COLEGAS E TESTES CONCEITUAIS

A metodologia de instrução por colegas, idealizada por Eric Mazur, é amplamente reconhecida como uma abordagem eficaz para promover a aprendizagem ativa em sala de aula. Fundamentada nos princípios da interação entre pares e na construção colaborativa do conhecimento, essa metodologia encoraja os alunos a discutir, argumentar e revisar conceitos com base em feedback mútuo, fortalecendo a compreensão e superando concepções alternativas (Mazur, 1997).

O origem de metodologia está relacionada basicamente com a dificuldade de os alunos em geral resolverem problemas que vão além de decorar fórmulas e repetir processos, os chamados problemas de livro texto (*textbook problems*), mas que exigem mais interpretação, os problemas baseados em palavras (*word based problems*). Em uma entrevista publicada em 2014, explica:

[...] e eu fiz mais algumas pesquisas no segundo semestre, quando você começa o Eletromagnetismo. Eu comparei o desempenho dos alunos sobre os *word based problems* com os *textbook problems* e eu descobri que eles poderiam fazer os *textbook problems*, mas eles não podiam responder a um simples *word based problem*. (MAZUR, 2014, 5min22s, tradução nossa).

Figura 3 – Eric Mazur mostra a aprendizagem interativa com a instrução por colegas.



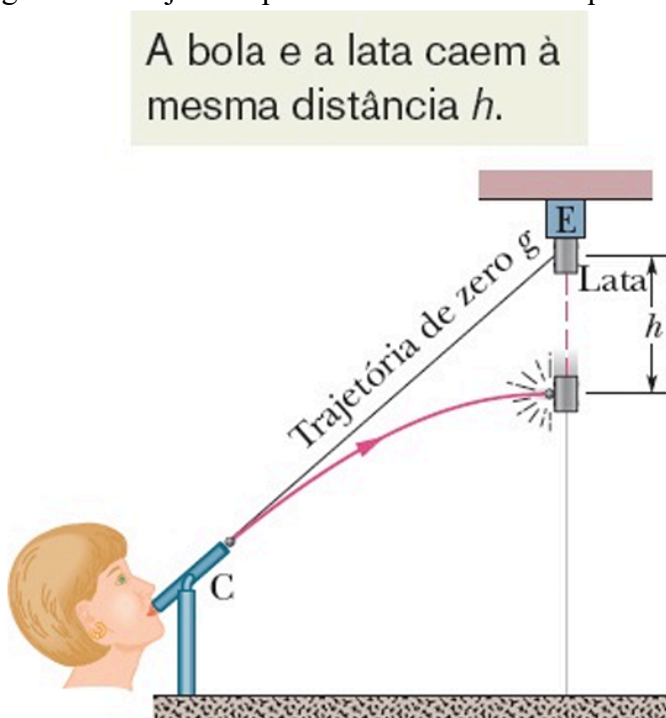
Fonte: Mazur (2012, 4min20s).

Um componente essencial dessa abordagem é o uso de testes conceituais, que permitem diagnosticar o nível de entendimento dos alunos antes, durante e após as atividades pedagógicas. Essas ferramentas são projetadas para identificar e corrigir concepções equivocadas, conduzindo os alunos a uma compreensão mais profunda dos conceitos estudados.

Dilber et al. (2009) destacam a eficácia dessa metodologia no ensino de tópicos complexos, como o movimento parabólico. Os autores demonstraram que a combinação de textos focados em mudança conceitual e atividades interativas melhora significativamente a aprendizagem, promovendo a reformulação de ideias intuitivas para modelos científicos.

Para ilustrar modelos de questões que podem ser abordados em um teste conceitual, podemos analisar o exemplo da Figura 4, onde um canhão é apontado para uma lata na iminência de cair. Na inexistência de gravidade, a trajetória do projétil é retilínea e este atinge o alvo. No entanto, considerando a gravidade, se o projétil é disparado ao mesmo tempo que a lata é abandonada, diferente do que o senso comum possa apontar, o projétil sempre atinge a lata, independente de sua velocidade, pois os movimentos verticais do projétil e da lata têm a mesma aceleração. Reflita um pouco sobre isso, não se trata apenas de aplicar uma fórmula.

Figura 4 – Projétil disparado contra o alvo em queda livre.



Fonte: Halliday; Resnick; Walker, (2016, p. 181).

Talvez o leitor esteja pensando que a velocidade inicial do objeto influencia sim, e se a velocidade for muito baixa não acertará a lata. O que acontece é que quanto maior a velocidade inicial do projétil, mais alto será o ponto de colisão com a lata, e vice-versa. Isso acontece porque a gravidade atua da mesma maneira tanto no projétil em queda livre quanto no projétil disparado. A única limitação nesse caso é se o alvo estiver fora do alcance horizontal do projétil, mas daí ele não seria atingido mesmo que ficasse parado. Note que este é um problema que exige reflexão, e vai além de aplicar processos matemáticos decorados.

No contexto do ensino de Física e Matemática, a integração da instrução por colegas com tecnologias educacionais, como simulações e experimentos práticos, potencializa ainda mais seus resultados. Quando aplicados ao tema do lançamento de projéteis, essas práticas permitem que os alunos conectem a teoria à prática, desenvolvendo habilidades analíticas e colaborativas. A metodologia, portanto, não apenas ajuda na compreensão de conceitos desafiadores, mas também promove o engajamento e a autonomia dos alunos, alinhando-se às demandas contemporâneas da educação.

Nesse sentido, a instrução por colegas, ao promover a discussão conceitual entre os alunos, mostra-se particularmente adequada quando associada a atividades de Modelagem Matemática. Durante a interação entre pares, hipóteses são confrontadas, argumentos são reformulados e concepções alternativas tendem a ser explicitadas, favorecendo a reconstrução conceitual (Mazur, 1997).

Araújo e Mazur (2013), em seu trabalho abordando a Metodologia da Instrução pelos Colegas e o Ensino sob Medida, apresentaram as metodologias como alternativas às metodologias baseadas em aulas expositivas para o estabelecimento de processos de ensino-aprendizagem mais frutíferos. Segundo os autores:

Seus pontos fortes estão em considerar o conhecimento prévio do aluno, favorecer interações sociais voltadas para a construção do conhecimento e estabelecer as bases para o desenvolvimento de habilidades metacognitivas, começando pela criação de hábitos de estudos por parte dos alunos. (ARAÚJO; MAZUR, 2013, p. 380).

No entanto, estudos indicam que a convergência dos alunos para uma resposta correta após a discussão não garante, necessariamente, a compreensão conceitual plena por parte de todos os participantes, podendo ocorrer influências sociais ou adesão a argumentos dominantes no grupo (Crouch; Mazur, 2001; Smith et al., 2009). Esse aspecto reforça a

importância de análises complementares, como a investigação das justificativas apresentadas e a comparação entre modelos teóricos e dados experimentais, abordagem adotada nesta pesquisa.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A presente revisão de literatura foi construída a partir de consultas a bases de dados como o Catálogo de Teses e Dissertações da CAPES, SciELO, Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Google Scholar e repositórios institucionais de universidades brasileiras. Também foram considerados artigos disponibilizados em plataformas de acesso aberto, como o arXiv e o Research Gate, especialmente no que se refere ao uso de simulações computacionais e à metodologia da instrução por colegas. Para a busca, foram utilizadas as palavras-chave: robótica educacional, Modelagem Matemática, lançamento de projéteis, instrução por colegas e aprendizagem ativa.

A seleção priorizou trabalhos recentes e relevantes que dialogam diretamente com a proposta da pesquisa, em especial aqueles que tratam da integração entre tecnologia, ensino de Física e Matemática e metodologias ativas. A revisão está organizada em subseções temáticas: inicialmente, apresentam-se estudos sobre robótica educacional; posteriormente, são abordadas as contribuições da Modelagem Matemática como recurso pedagógico; e, por fim, discute-se a metodologia da instrução por colegas.

Evrípidou et al. (2020) destacam que o uso de desafios pode favorecer o desenvolvimento de habilidades cognitivas e o engajamento dos alunos. Segundo os autores, “desafios que envolvem generalização têm mais probabilidade de aumentar o pensamento computacional, enquanto a natureza do desafio e as oportunidades associadas podem elevar a motivação dos alunos” (EVRIPIDOU et al., 2020, p. 219558, tradução nossa).

Embora o presente trabalho não esteja centrado em desafios, tais resultados reforçam o potencial da robótica educacional como estratégia para promover envolvimento cognitivo e motivacional em atividades de aprendizagem em Física e Matemática.

Kuhn e Vogt (2013), destacam o potencial dos dispositivos móveis na experimentação ao afirmarem que:

[...] as sequências de vídeo gravadas (por exemplo, de uma esfera de aço em queda livre) podem ser analisadas usando softwares apropriados, demonstrando que o celular não é usado apenas como meio de documentação, mas também como ferramenta de experimentos nas aulas de física. (KUHN; VOGT, 2013, p. 68, tradução nossa).

Essa perspectiva amplia a compreensão do smartphone como recurso pedagógico, deslocando-o de um papel meramente passivo de registro para uma função ativa na produção e análise de dados experimentais. No contexto do ensino do movimento de projéteis, tal abordagem mostra-se particularmente promissora, pois possibilita que os alunos realizem investigações quantitativas a partir de situações reais, favorecendo a articulação entre teoria e prática. Além disso, o uso da videoanálise mediada por dispositivos acessíveis pode contribuir para a implementação de metodologias ativas, como a Instrução pelos Colegas, ao promover discussões baseadas em evidências empíricas produzidas pelos próprios alunos.

No trabalho de Cronemberger Galvão (2017), foram utilizadas atividades de programação no *Scratch* para ensinar conceitos de Física relacionados ao lançamento de projéteis. Os alunos não apenas interagem com jogos, mas também foram responsáveis por desenvolver suas próprias versões, promovendo uma experiência ativa e criativa. O estudo evidenciou que essa abordagem proporcionou uma aprendizagem mais atrativa, resultando em maior engajamento dos alunos.

Santos (2024), em seu trabalho onde abordou a robótica educacional em um itinerário formativo para o ensino médio, além de mostrar a importância da robótica educacional, o autor discute como competições envolvendo essa metodologia podem estimular o raciocínio lógico e o desenvolvimento de competências matemáticas de forma desafiadora e engajante. Albertoni (2020), por sua vez, demonstra como a inserção da robótica no ensino de matemática evidencia conteúdos de forma prática, aproximando-os da realidade dos alunos. Os resultados reforçam a aplicabilidade da robótica educacional em diferentes contextos e envolvendo diferentes conteúdos.

Diante disso, a Modelagem Matemática tem se consolidado como uma metodologia eficaz para o ensino de Física e Matemática, promovendo a integração de conceitos teóricos com práticas experimentais. Daniel (2020) destaca que atividades baseadas em modelagem permitem que os alunos explorem fenômenos como o movimento parabólico de forma colaborativa e contextualizada. Um exemplo prático apresentado na pesquisa foi o estudo de lançamentos realizados com foguetes educacionais, no qual os alunos relacionaram dados experimentais a modelos matemáticos (DANIEL, 2020, p. 59).

Baumer et al. (2025) investigam a contribuição da Modelagem Matemática aliada a atividades experimentais no ensino de Física, com foco em fenômenos como corrente elétrica e campo magnético. A análise de dissertações revela que essa abordagem favorece uma

aprendizagem significativa e contextualizada, além de reforçar a importância de aproximar teoria e prática.

Essas atividades mostraram-se eficazes no desenvolvimento de habilidades como pensamento crítico, resolução de problemas e análise gráfica, características fundamentais para práticas interdisciplinares no Ensino Médio. A pesquisa reforça o papel da Modelagem Matemática como uma ferramenta para tornar o aprendizado mais significativo e alinhado às metodologias ativas de ensino.

Bezerra do Nascimento (2021) desenvolveu uma proposta pedagógica que integra Modelagem Matemática em ambientes informatizados no Ensino Médio, apontando que o uso de tecnologia promove um olhar mais crítico e significativo sobre os conteúdos matemáticos. Essa visão está claramente alinhada com a nossa proposta, que utiliza ferramentas digitais e robótica para dinamizar a modelagem e o ensino de Matemática de Física.

Melo e Bisognin (2022) apresentaram uma proposta de itinerário formativo para o Novo Ensino Médio centrado na Modelagem Matemática. O estudo indica que essa metodologia fortalece habilidades e competências fundamentais, promovendo articulação interdisciplinar e reflexões mais profundas sobre os problemas trabalhados. Essa abordagem contribui para respaldar nossa proposta de sequência didática interdisciplinar com utilização da modelagem.

Além da construção física de dispositivos robóticos, ambientes virtuais de prototipagem e simulação, como o *Tinkercad*¹, têm sido utilizados como suporte pedagógico no ensino de robótica educacional. Essa plataforma permite a visualização e simulação de circuitos eletrônicos e códigos de programação, favorecendo a compreensão do funcionamento dos componentes antes ou durante a implementação prática.

Segundo Papert (1980), mesmo quando o aluno não constrói fisicamente um artefato, a interação com ambientes computacionais interativos pode favorecer processos de aprendizagem significativa, especialmente quando acompanhada de questionamentos, previsões e discussões coletivas. Nesse sentido, o uso do *Tinkercad*, ainda que com o robô previamente programado pelo professor, possibilita aos alunos compreender a lógica de funcionamento do sistema e participar ativamente do processo investigativo.

¹ O Tinkercad é uma plataforma online gratuita desenvolvida pela Autodesk que permite a criação e simulação de circuitos eletrônicos, modelagem 3D e programação de projetos com microcontroladores, sendo amplamente utilizada em contextos educacionais para o ensino de eletrônica e robótica.

Alves et al. (2020) exploram como a robótica educacional pode ser utilizada para produzir modelos matemáticos, demonstrando que os alunos atuaram como autores tecnológicos ao desenvolver soluções baseadas em Arduino e raciocínio matemático. Nesse contexto, o uso de softwares matemáticos dinâmicos, como o GeoGebra, tem se mostrado um recurso relevante para apoiar atividades de Modelagem Matemática no ensino de Física e Matemática.

Ao possibilitar a construção e manipulação de gráficos, funções e representações geométricas em tempo real, o GeoGebra favorece a visualização das relações entre variáveis, permitindo que os alunos explorem, testem hipóteses e analisem o comportamento de modelos matemáticos associados a fenômenos físicos, como o lançamento de projéteis. De acordo com Hohenwarter e Jones (2007), o GeoGebra permite a exploração simultânea de representações algébricas, gráficas e geométricas, favorecendo a construção de significados matemáticos a partir de dados experimentais. No contexto do lançamento de projéteis, esse tipo de software possibilita que os alunos visualizem a relação entre parâmetros do movimento e as funções matemáticas associadas, reforçando a articulação entre teoria e prática defendida pela Modelagem Matemática.

Silva e Madruga (2021) apresentam um mapeamento de pesquisas sobre Modelagem Matemática na Educação, evidenciando a diversidade de abordagens e contextos de aplicação dessa metodologia. O estudo destaca que essa metodologia permite a aproximação da escola com formas de pensar e agir científico, ao mesmo tempo que favorece o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais investigativas. Essa dimensão pedagógica está diretamente alinhada com uma perspectiva que busca renovar o ensino de Física e Matemática por meio de experimentação, modelagem e colaboração ativa.

De forma complementar, o uso de simulações computacionais interativas, como as disponibilizadas pelo projeto *PhET Interactive Simulations*², permite que os alunos explorem fenômenos físicos em ambientes controlados, manipulando variáveis e observando seus efeitos de maneira imediata.

Neste contexto, a metodologia da instrução por colegas (Peer Instruction), desenvolvida por Mazur, tem sido constantemente revisitada e aprimorada em diferentes contextos educacionais. Lan et al. (2022) apresentam uma versão modificada da metodologia,

² O PhET Interactive Simulations é um conjunto de simulações computacionais interativas gratuitas, desenvolvido pela University of Colorado Boulder, voltado ao ensino de Ciências e Matemática por meio da exploração visual e manipulável de fenômenos físicos.

comparando o impacto da mediação entre pares com a instrução tradicional do professor, constatando ganhos significativos de compreensão conceitual quando os alunos discutem entre si.

O estudo de Nascimento et al. (2021) explora o uso da videoanálise com o software *Tracker*³ associado à metodologia de Instrução pelos Colegas para ensinar funções matemáticas e conceitos de cinemática. Realizado com alunos do 9º ano do Ensino Fundamental, o trabalho destacou como a aplicação prática e colaborativa de experimentos pode melhorar significativamente o aprendizado, conforme demonstrado pelos resultados obtidos através do ganho normalizado de Hake.

Além de avaliar positivamente a utilização da metodologia da instrução por colegas, Brown (2024) descreve a utilização de softwares de captura de imagens, como o *Tracker*, capaz de analisar a trajetória de projéteis e fornecer funções que descrevem o movimento, sendo que ainda é possível interagir sugerindo qual tipo de ajuste seria mais adequado utilizar. Aplicações como esta permitem que alunos colaborem na construção de conceitos matemáticos e físicos.

Bayona (2024) investigou o uso da metodologia de instrução por colegas em turmas de Física do ensino médio (Grade 12, equivalente a 3º ano do ensino médio) e relata que os alunos que passaram por esse tipo de intervenção apresentaram melhorias significativas em seu desempenho acadêmico em comparação com o ensino tradicional. Este resultado reforça nossa escolha metodológica, já que a instrução por colegas revela-se uma estratégia eficaz para a aprendizagem de conceitos complexos, especialmente quando os alunos têm a oportunidade de discutir, revisar e explicar suas próprias concepções.

A meta-análise realizada por Öz (2023) sobre os efeitos da instrução por colegas em diversas disciplinas científicas conclui que essa abordagem apresenta um efeito positivo e significativo na aprendizagem acadêmica ($g = +0,92$)⁴. Em vez de analisar apenas uma sala de aula ou um único curso, a pesquisadora reuniu diversos estudos sobre a metodologia, aplicados em diferentes contextos, e verificou que o efeito médio da instrução por colegas é positivo e estatisticamente significativo.

³ O Tracker é um software livre de análise de vídeo e modelagem do movimento, amplamente utilizado no ensino de Física para o estudo de fenômenos cinemáticos por meio do rastreamento quadro a quadro de objetos em vídeos. O programa é desenvolvido no âmbito do Open Source Physics.

⁴ g corresponde ao tamanho de efeito padronizado conhecido como Hedges' g , medida estatística utilizada em meta-análises para expressar a magnitude da diferença entre grupos. Valores positivos indicam efeito favorável ao grupo experimental; convencionalmente, valores próximos de 0,2 são considerados pequenos, 0,5 moderados e 0,8 ou superiores grandes.

Embora haja variações dependendo do nível de ensino ou do formato da intervenção, essa evidência geral oferece suporte robusto para a adoção da instrução por colegas, pois sugere que a discussão entre os pares não apenas facilita a compreensão conceitual, mas também potencializa ganhos de aprendizagem, o que qualifica a discussão sobre o impacto que a nossa prática pode ter nos alunos.

Apesar de o professor Mazur ter iniciado suas experiências com a metodologia da instrução por colegas em uma turma de nível superior, não há evidências de que a metodologia se aplique melhor a uma determinada etapa de ensino ou faixa etária. Um estudo realizado com alunos do ensino médio no ensino de soluções químicas encontrou que a aplicação da metodologia *Peer Instruction* contribuiu de forma apropriada para promover aprendizagem conceitual e a correção de concepções equivocadas entre os alunos, indicando a eficácia da abordagem em contextos de Educação Básica (YILDIRIM; CANPOLAT, 2019).

Diante do conjunto de estudos analisados, observa-se que há um consenso na literatura quanto ao potencial das metodologias ativas, da Modelagem Matemática e do uso de tecnologias educacionais para promover uma aprendizagem mais significativa em Física e Matemática. Nesse sentido, o presente estudo busca contribuir ao propor e analisar uma sequência didática que combina, de forma intencional, a Modelagem Matemática, a robótica educacional, o uso de outras tecnologias educacionais e a metodologia da Instrução pelos Colegas, aplicada ao ensino do lançamento de projéteis no Ensino Médio.

Além disso, este trabalho diferencia-se ao investigar não apenas os ganhos de aprendizagem conceitual, mas também as percepções dos alunos sobre a proposta. Dessa forma, pretende-se ampliar as discussões que já estão presentes na literatura, oferecendo uma abordagem integrada e contextualizada para o ensino de conceitos físicos e matemáticos na Educação Básica.

4 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caráter aplicado e intervencional, desenvolvido em contexto escolar, com a implementação planejada de uma sequência didática voltada ao ensino de lançamento de projéteis. Segundo Antonio Carlos Gil (2008), pesquisas aplicadas têm como finalidade gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, enquanto pesquisas de caráter intervencionista envolvem a introdução deliberada de uma ação no ambiente investigado, com o objetivo de analisar seus efeitos. Nesse sentido, o presente estudo enquadra-se nessa perspectiva ao propor e executar uma intervenção pedagógica estruturada, buscando compreender seus impactos na aprendizagem conceitual dos alunos.

Além disso, a investigação adota abordagem quali-quantitativa, também denominada de métodos mistos. Conforme argumenta John W. Creswell (2014), a combinação de dados quantitativos e qualitativos possibilita uma compreensão mais abrangente do fenômeno investigado, pois integra resultados mensuráveis — como desempenho em testes — com a análise de percepções, significados e interpretações dos participantes. No contexto educacional, essa articulação é particularmente relevante, uma vez que a aprendizagem envolve tanto dimensões objetivamente avaliáveis quanto aspectos subjetivos relacionados ao engajamento, à cooperação e à construção de sentidos.

Dessa forma, a opção por uma abordagem mista justifica-se pela necessidade de analisar, simultaneamente, indicadores estatísticos de desempenho — tais como frequência relativa de acertos, médias, desvio-padrão e ganho normalizado — e elementos qualitativos extraídos das respostas abertas dos alunos. Assim, a metodologia adotada busca integrar diferentes perspectivas analíticas, conferindo maior robustez e consistência aos resultados obtidos.

Para fins de organização e clareza analítica, distinguem-se neste estudo dois níveis de procedimentos: (i) os procedimentos metodológicos da pesquisa, relacionados à coleta e análise dos dados; e (ii) os procedimentos da intervenção didática, referentes à aplicação da sequência de ensino em sala de aula.

4.1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Para a operacionalização da pesquisa, foram definidos procedimentos metodológicos organizados nas etapas descritas a seguir. Os instrumentos foram aplicados presencialmente pelo pesquisador, durante o horário regular de aula. O questionário diagnóstico teve como objetivo identificar os conhecimentos prévios dos alunos acerca do lançamento de projéteis, enquanto o pós-teste buscou verificar possíveis avanços conceituais após a intervenção, bem como a percepção dos alunos acerca da metodologia e atividades realizadas. Foram realizadas as seguintes etapas:

1 - Aplicação do questionário diagnóstico: com questões conceituais sobre lançamento de projéteis e tecnologias educacionais;

2 - Questionário pós-intervenção: aplicando o mesmo instrumento do diagnóstico;

3 - Questionário de opinião final: com perguntas abertas e fechadas sobre as percepções dos alunos acerca da metodologia e atividades realizadas.

A análise quantitativa buscou identificar possíveis variações no desempenho dos alunos antes e após a intervenção, conforme procedimentos estatísticos descritivos, tais como:

- Frequência relativa de acertos por questão;
- Cálculo de média, desvio-padrão e comparação de desempenhos antes/depois;
- Cálculo do ganho de Hake para o desempenho, conforme proposto por Richard R. Hake (1998).

Para a análise da parte qualitativa, adotou-se a Análise de Conteúdo na perspectiva de Bardin (2016), entendida como um “conjunto de técnicas de análise das comunicações que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens” (BARDIN, 2016, p. 44).

Nesse sentido, a análise das respostas abertas envolveu:

- Codificação das unidades de significado;
- Categorização em temas (engajamento, compreensão e cooperação);
- Interpretação dos sentidos com base nos objetivos da pesquisa.

4.2 PROCEDIMENTOS DA INTERVENÇÃO DIDÁTICA

A intervenção pedagógica foi estruturada com base nos princípios da Instrução pelos Colegas (*Peer Instruction*), conforme proposta por Mazur (1997), articulada ao uso de atividades experimentais e recursos tecnológicos digitais. Essa abordagem fundamenta-se na promoção da aprendizagem ativa por meio da discussão entre pares, da resolução de questões conceituais e da mediação do professor. Essa intervenção didática pode ser dividida em duas ações principais:

1 - Formação de grupos: com base nos resultados do questionário diagnóstico, os alunos foram organizados em grupos heterogêneos, buscando-se garantir que cada grupo contasse com pelo menos um aluno com maior domínio conceitual. Essa estratégia está alinhada aos pressupostos da Instrução pelos Colegas, que enfatiza o papel da interação entre alunos com diferentes níveis de compreensão para favorecer a aprendizagem colaborativa.

2 - Oficinas didáticas: foram desenvolvidas atividades envolvendo exposição teórica introdutória, no que diz respeito à relação entre modelos matemáticos e o lançamento de projéteis, videoanálise com o software *Tracker* e modelagem matemática com apoio do GeoGebra, simulação computacional do lançamento de projéteis utilizando robótica educacional e o simulador de lançamento do projéteis do *PhET*. Essas atividades buscaram promover a articulação entre teoria e experimentação, favorecendo a aprendizagem ativa e a investigação pelos alunos.

As atividades com alunos foram realizadas entre os meses de agosto e outubro de 2025, com a seguinte quantidade de aulas (45 min) por atividade:

Tabela 1 – Aulas por atividade.

Atividade	Número de aulas
Explicação do projeto e aplicação do questionário diagnóstico	2
Introdução ao lançamento de projéteis (principais conceitos)	2
Aplicação dos testes conceituais e formação dos grupos	2
Execução do roteiro com o <i>Tracker</i> em grupos	6
Atividade com o robô didático e simulador do PhEt	1
Aplicação do questionário final	1
Total de aulas	14

Fonte: Elaborado pelo autor.

As atividades não foram realizadas de forma contínua, em virtude da ocorrência de outras demandas escolares ao longo do período de aplicação, especialmente por se tratar de turmas da terceira série do ensino médio, nas quais são frequentes visitas a universidades, palestras e projetos extraclasse.

4.3 CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

A pesquisa foi desenvolvida em conformidade com as resoluções CNS nº 466/2012 e CNS nº 510/2016, que regulamenta estudos em Ciências Humanas e Sociais, e foi submetida à apreciação do Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal da Fronteira Sul (CEP/UFFS). O projeto foi aprovado sob o Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) nº 89828225.8.0000.5564, de acordo com o parecer consubstanciado nº 7.710.957.

Todos os procedimentos adotados respeitaram os princípios éticos de voluntariedade, anonimato e confidencialidade. Os alunos participantes, ou seus responsáveis legais no caso de menores de 18 anos, assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Os alunos menores também assinaram o Termo de Assentimento.

A participação foi totalmente voluntária, sem qualquer forma de coerção, e os alunos puderam desistir a qualquer momento, sem prejuízo acadêmico. A identidade dos participantes foi preservada mediante a substituição de nomes por códigos alfanuméricos, utilizados apenas para fins de organização interna dos dados.

A coleta foi realizada exclusivamente pelo pesquisador responsável, nas dependências da Escola de Educação Básica Padre Izidoro Benjamin Moro, durante o horário de aula, conforme autorização emitida pela Coordenadoria Regional de Educação de Seara/SC.

Os dados serão armazenados em arquivo, de acesso restrito ao pesquisador, e permanecerão guardados por cinco anos, conforme exigência do CEP. Após esse período, serão destruídos. Ao final do estudo, será realizada uma devolutiva dos resultados à escola e aos participantes interessados.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta a aplicação do produto educacional desenvolvido nesta pesquisa, bem como a análise dos resultados obtidos a partir de sua implementação em uma turma do Ensino Médio. Inicialmente, descreve-se o produto educacional elaborado, detalhando sua estrutura, objetivos e organização didática. Em seguida, são caracterizados o contexto de aplicação e o perfil dos participantes. Posteriormente, são apresentados e discutidos os dados coletados ao longo da intervenção pedagógica, à luz do referencial teórico adotado, buscando avaliar o impacto da proposta sobre a aprendizagem conceitual dos alunos acerca do lançamento de projéteis.

5.1 DESCRIÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

O produto educacional proposto consiste em uma sequência didática interdisciplinar, voltada para o Ensino Médio, que utiliza robótica educacional e Modelagem Matemática para explorar o tema do lançamento de projéteis. A principal ferramenta prática é um simulador didático, projetado para simular ângulos de lançamento de disparos controlados de projéteis, permitindo aos alunos investigar conceitos de física, como movimento parabólico, e aplicar conceitos de Modelagem Matemática para a análise de dados experimentais e previsão dos alcances e trajetórias.

A sequência didática inclui:

- Aulas teóricas e práticas: Para contextualizar os conceitos de física e matemática envolvidos.
- Atividades investigativas em grupo: Baseadas na metodologia da instrução por colegas, promovendo colaboração e engajamento.
- Uso de tecnologias e simulações: Para complementar a análise experimental e garantir acessibilidade.
- Guia didático: Com instruções detalhadas sobre como implementar a sequência.

Esse produto educacional foi projetado para estimular a aprendizagem ativa, conectar teoria à prática e promover a interdisciplinaridade no ensino de matemática e física.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA TURMA DE APLICAÇÃO

A amostra foi composta por uma quantidade inicial de 20 alunos da 3º ano do Ensino Médio da Escola de Educação Básica Padre Izidoro Benjamim Moro, de Lindóia do Sul (idade média = 17,9 anos; 56% do sexo feminino). A inclusão considerou a frequência nas aulas durante o período de aplicação e o consentimento assinado pelos responsáveis.

Entendemos que a caracterização da turma participante representa uma etapa fundamental para compreender o ponto de partida da intervenção didática proposta. Para isso, foi aplicado um instrumento de diagnóstico (APÊNDICE A), dividido em duas partes. A primeira, de natureza conceitual, avaliou conhecimentos prévios relacionados ao conteúdo de lançamento de projéteis, enquanto a segunda buscou identificar percepções e experiências dos alunos sobre Modelagem Matemática, robótica educacional e práticas de ensino.

No que se refere à parte conceitual, composta por cinco questões objetivas com foco em aspectos fundamentais do lançamento de projéteis, como independência dos movimentos, efeito da gravidade e representação gráfica, observou-se um desempenho geral modesto. A maioria dos participantes obteve pontuações abaixo da metade do total possível, revelando lacunas importantes na compreensão conceitual do tema.

É importante ressaltar que é difícil dizer se os alunos já haviam tido o contato com a temática do lançamento de projéteis, já que este conteúdo às vezes pode ser abordado como lançamento oblíquo, lançamento horizontal ou até mesmo no estudo da queda livre, mas essa questão não invalida nossa proposta, visto que procuramos avaliar o ganho conceitual partindo dos conhecimentos prévios dos alunos demonstrados no questionário diagnóstico.

A questão sobre como a gravidade afeta o movimento de um projétil obteve o maior número de acertos, ainda abaixo do recomendado (70%) enquanto itens que exigiam o entendimento da composição dos movimentos (horizontal e vertical) ou da influência do ângulo de lançamento foram os que apresentaram maior índice de erros, como a questão sobre os navios (questão 4 do diagnóstico). Muitas dessas questões continham imagens associadas, que omitimos no texto da Tabela 1, mas que podem ser consultadas nos apêndices A e B. A seguir apresentamos a referida tabela que revela a taxa de acertos por questão e a taxa de acertos médio.

Tabela 2 – Resultado questionário diagnóstico (parte conceitual objetiva).

Pergunta	Taxa de acertos
Como podemos descrever o movimento de um projétil?	42,1%
Como a gravidade afeta o movimento de um projétil?	47,4%
Para representar a gravidade g atuando em um projétil por meio de uma equação, qual deve ser o sinal?	21,1%
Um navio de guerra dispara simultaneamente dois projéteis contra navios inimigos. Se os projéteis seguem trajetórias parabólicas diferentes, qual navio é atingido primeiro?	10,5%
Um experimento consiste em disparar um projétil contra um alvo suspenso. No momento exato do disparo, o alvo é solto e começa a cair. O que acontece?	31,6%
Em sua opinião, modelar matematicamente um fenômeno significa:	47,4%
Taxa de acertos médio	33%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse padrão sugere que, embora parte dos estudantes reconheça a ação da gravidade como elemento central do movimento, há dificuldades significativas na compreensão da independência dos movimentos horizontal e vertical, bem como na interpretação de situações-problema que demandam raciocínio relacional. A baixa taxa de acertos na questão do alvo que cai simultaneamente ao disparo (31,6%) reforça essa hipótese, indicando fragilidades na compreensão da simultaneidade dos movimentos sob aceleração gravitacional constante.

No que se refere à última questão, relacionada à Modelagem Matemática, o índice de acertos (47,4%) revela que quase metade da turma apresenta uma compreensão ainda incipiente do conceito. As respostas abertas indicaram que muitos estudantes associam modelagem à mera aplicação de fórmulas ou à simulação com objetos concretos, o que demonstra uma visão limitada do processo de construção e validação de modelos. Esse dado dialoga com os demais resultados, pois a dificuldade em compreender a estrutura conceitual do lançamento de projéteis parece também refletir uma fragilidade na compreensão do que significa modelar matematicamente um fenômeno..

Esses resultados reforçam a pertinência de uma abordagem didática que valorize a contextualização, a experimentação e o trabalho colaborativo, como a proposta baseada na instrução por colegas.

A segunda parte do questionário, de natureza mais qualitativa, conforme a Tabela 3, revelou dados relevantes sobre as percepções dos alunos. Quanto ao uso da robótica educacional, parte dos alunos relatou já ter participado de oficinas ou atividades que envolvessem esse tipo de tecnologia, enquanto outra parcela demonstrou interesse no tema, embora sem experiências anteriores.

A maioria dos respondentes afirmou que se sentiria mais motivada a estudar Física com o uso de robôs e experimentos práticos, desde que as atividades fossem bem explicadas. Essa predisposição positiva em relação às abordagens ativas e tecnológicas encontra respaldo na perspectiva construcionista de Papert, ao defender que a aprendizagem se torna mais significativa quando o conhecimento científico se articula com atividades percebidas pelos alunos como relevantes e pessoalmente envolventes. Nesse sentido, o autor afirma que “se pudermos encontrar um lugar honesto para o pensamento científico em atividades que a criança considera importantes e pessoais, abriremos as portas para algo mais coerente” (Papert, 1980, p. 43, tradução nossa). Assim, a abertura manifestada pelos alunos constitui um indicativo favorável para a implementação da intervenção proposta.

Tabela 3 – Resultado questionário diagnóstico (parte qualitativa).

Pergunta	Alternativa	Percentual
Você já ouviu falar sobre modelagem matemática no contexto escolar?	Sim, já usei em aulas de Física ou Matemática.	52,6%
	Já ouvi falar, mas não sei bem o que é.	21,1%
	Não, nunca ouvi falar.	21,1%
	Acho que sim, mas não lembro o conteúdo.	5,2%
Você já teve contato com robôs ou kits de robótica educacional?	Sim, já participei de aulas ou oficinas.	52,6%
	Sim, mas apenas como observador.	47,4%
	Não, mas tenho interesse.	0,0%
	Não, e não vejo utilidade nisso.	0,0%
Você se sentiria mais motivado a estudar Física com o uso de robôs e experimentos práticos?	Sim, com certeza.	47,4%
	Talvez, se forem bem explicados.	47,4%
	Não vejo diferença.	5,2%
	Prefiro apenas teoria e exercícios.	0,0%

Em trabalhos em grupo, você costuma:	Preferir trabalhar sozinho.	5,2%
	Ajudar e aprender com os colegas.	89,6%
	Fazer sua parte separadamente.	5,2%
	Esperar que alguém lidere.	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Por fim, as respostas relacionadas ao trabalho em grupo demonstraram que a maioria dos alunos se vê como colaborativo, relatando que costuma ajudar e aprender com os colegas durante as atividades coletivas. Esse perfil favorece a aplicação da metodologia de instrução por colegas, uma vez que pressupõe a cooperação e a troca de conhecimentos entre os pares como estratégia para a construção do saber.

Esses dados iniciais foram fundamentais para subsidiar a continuidade da aplicação da sequência didática e a organização dos grupos de trabalho, com base na heterogeneidade dos conhecimentos prévios identificados.

5.3 ANÁLISE DAS PRÁTICAS PEDAGÓGICAS

5.3.1 Considerações sobre o protocolo de instrução por colegas adotado

A metodologia da instrução por colegas apresenta diferentes protocolos de aplicação, variando desde sua forma mais tradicional — proposta por Mazur, com estudo prévio do conteúdo pelos alunos — até versões adaptadas ao contexto específico da sala de aula. Em modelos híbridos, vinculados à sala de aula invertida, o estudante acessa antecipadamente o material teórico, de modo que o tempo presencial seja dedicado majoritariamente à discussão entre pares e à resolução de problemas conceituais.

Essa flexibilidade é reconhecida por Crouch e Mazur (2001, p. 975, tradução nossa), ao afirmarem que “uma das forças do PI é a sua adaptabilidade a uma ampla variedade de contextos e estilos de instrutor”, indicando que a metodologia pode ser ajustada conforme as necessidades pedagógicas e as características do ambiente de ensino.

Esses formatos são reconhecidos na literatura como capazes de maximizar o engajamento e aprofundar o debate entre os alunos, potencializando a aprendizagem conceitual. Contudo, a eficácia dessas abordagens depende substancialmente da capacidade

dos alunos de manter uma rotina consistente de estudo autônomo, bem como das condições estruturais e culturais do contexto escolar.

No presente estudo, optou-se por utilizar uma abordagem integralmente presencial da instrução por colegas, sem a etapa de preparação prévia. Essa decisão fundamenta-se em experiências pedagógicas anteriores com turmas da mesma escola, nas quais se observou que os alunos, de modo geral, ainda não desenvolveram a prática de estudo sistemático fora do ambiente escolar.

Diante desse cenário, a adoção de protocolos baseados em sala de aula invertida poderia resultar em desigualdades na participação, favorecendo apenas os alunos mais disciplinados ou com melhores condições de estudo domiciliar, comprometendo a equidade do processo. Assim, a condução da metodologia exclusivamente em sala de aula buscou garantir que todos os participantes tivessem acesso às mesmas explicações, aos mesmos materiais e às mesmas oportunidades de construção coletiva de conhecimento.

Essa escolha metodológica também contribui para interpretar os resultados dos testes conceituais, uma vez que certas concepções alternativas fortemente enraizadas podem exigir maior tempo de discussão ou múltiplos ciclos de interação para serem superadas — possibilidade limitada pelo formato adotado. Ainda assim, o protocolo empregado mostrou-se adequado ao contexto investigado e preservou a coerência pedagógica da proposta, ao mesmo tempo em que delinea caminhos para pesquisas futuras que explorem gradualmente práticas de autonomia e preparação prévia.

5.3.2 Testes conceituais

Iniciou-se a oficina com a divisão dos alunos em 4 subgrupos, cuja escolha dos integrantes foi baseada no desempenho de cada um no diagnóstico inicial. O objetivo por trás dessa escolha se justifica no sentido de manter grupos heterogêneos de alunos quanto ao desempenho, o que está alinhado com os pressupostos da abordagem da instrução por colegas, ; conforme explicam Crouch e Mazur (2001):

[...] os estudantes então discutem suas respostas com outros sentados ao seu redor; o instrutor(professor) incentiva os estudantes a tentarem convencer uns aos outros da correção de sua própria resposta, explicando o raciocínio [...] (CROUCH; MAZUR, 2001, p. 970, tradução nossa).

Isso permite que alunos que possuem uma maior facilidade de assimilação dos conceitos “convençam” os colegas com eventual dificuldade.

Na sequência, realizou-se uma breve introdução ao estudo do lançamento de projéteis, utilizando a lousa, mostrando alguns gráficos e imagens no projetor, além de abordar o principal conceito, que causa mais dúvidas e concepções incorretas, o da independência dos movimentos, apresentando duas equações:

Equação 1:

$$x = x_0 + v_{0x} t$$

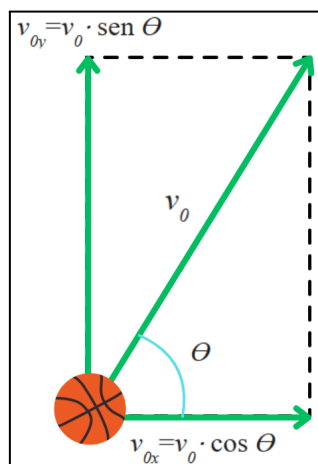
Esta equação relaciona o movimento do projétil no eixo horizontal (x) a partir da posição inicial (x_0) e da componente horizontal da velocidade inicial (v_{0x}) com o tempo decorrido.

Equação 2:

$$y = y_0 + v_{0y} t - \frac{1}{2} g t^2$$

Já esta, relaciona o movimento do projétil no eixo vertical (y) a partir da posição inicial (y_0), da componente vertical da velocidade inicial (v_{0y}) e da aceleração gravitacional (g) com o tempo decorrido.

As componentes da velocidade v se relacionam de acordo com a Figura 5, também apresentada aos alunos, onde $v_{0y} = v \cdot \text{sen}\theta$ e $v_{0x} = v \cdot \text{cos}\theta$.

Figura 5 – Componentes da velocidade v .

Fonte: Elaborado pelo autor.

Teve-se o cuidado de não abordar diretamente as questões de diagnóstico inicial, mas apenas conceitos e situações relacionadas a estas. Mesmo que os alunos não soubessem as respostas corretas, o objetivo era evitar que os mesmos respondessem às mesmas questões no questionário final por simples memorização das respostas corretas, prejudicando assim a interpretação dos resultados.

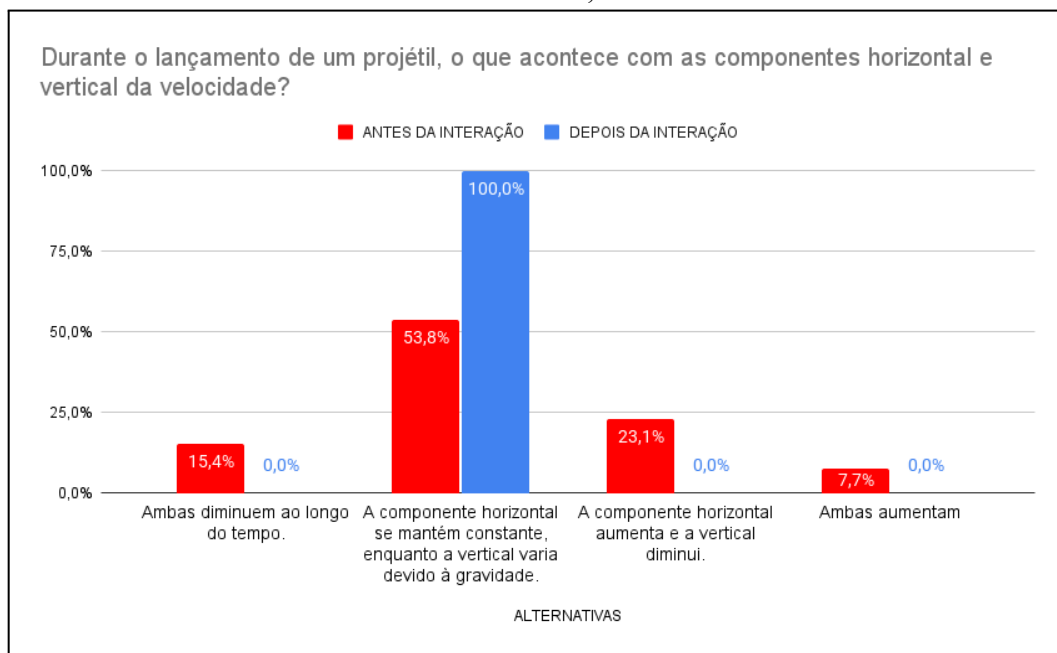
Após esta explicação inicial, realizamos alguns testes conceituais utilizando o software *Plickers*⁵, que utiliza cartões com *QR Code* para permitir que os alunos respondam rapidamente ao teste e que as respostas sejam computadas em tempo real. Uma vantagem interessante é que os alunos não precisam baixar nenhum aplicativo ou fazer login, muito menos utilizar qualquer equipamento tecnológico para interagir. A aplicação ainda permite que você mostre ou não os resultados de maneira estratégica, mostrando ou não os resultados para os alunos.

O objetivo dessa etapa foi aplicar a metodologia clássica da instrução por colegas apresentada em vídeos do professor Mazur, projetando testes na lousa, pedindo que os alunos respondessem sem interagir e depois de 1 minuto de discussão respondessem as questões novamente (MAZUR, 2012).

⁵ O Plickers é uma ferramenta digital gratuita de resposta em tempo real que permite ao professor coletar respostas dos alunos por meio de cartões impressos e leitura via dispositivo móvel, possibilitando a realização de avaliações formativas rápidas em sala de aula. A plataforma é desenvolvida pela Plickers.

A ideia de mostrar ou não os resultados no quadro a cada teste é evitar que os alunos mudem de opinião apenas por causa das estatísticas e não por causa da discussão. Os resultados alcançados são apresentados na sequência.

Gráfico 1 – Teste conceitual 1, alternativa correta: B.



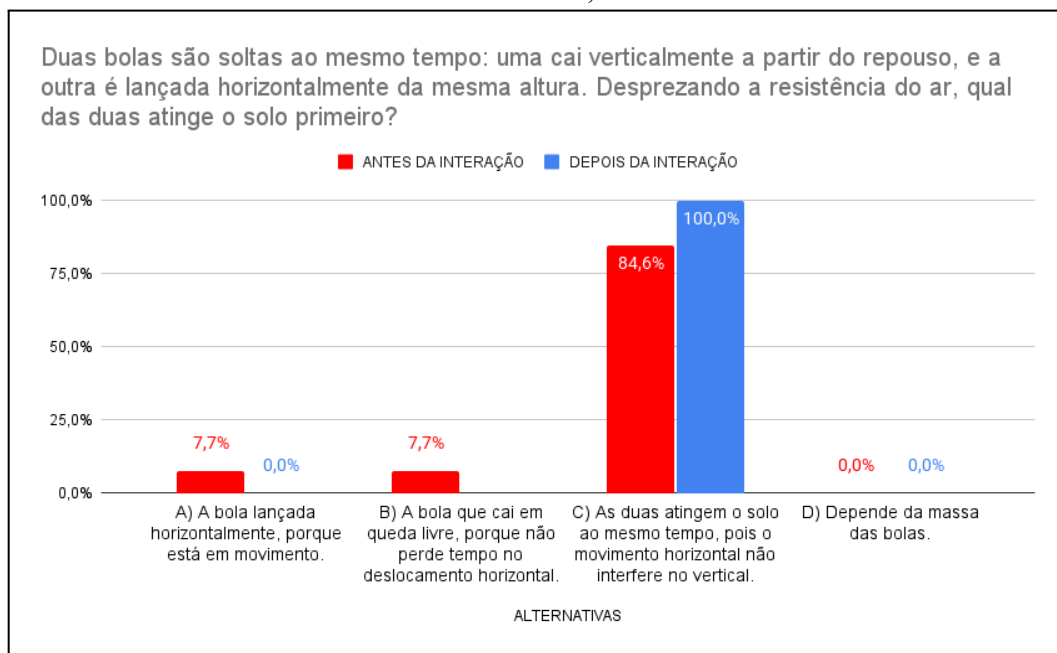
Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados obtidos neste teste conceitual aplicado aos alunos evidenciam a importância da metodologia da instrução por colegas como estratégia de ensino. Na questão analisada, que buscava verificar a compreensão sobre a independência entre as componentes horizontal e vertical no lançamento de projéteis, observou-se inicialmente que apenas pouco mais da metade dos alunos (53,8%) selecionou a alternativa correta. Uma parcela significativa dos participantes (46,2%) ainda apresentava concepções equivocadas, acreditando que ambas as componentes variam simultaneamente ou que a componente horizontal se altera ao longo do movimento.

Após a etapa de discussão entre pares, ocorreu uma migração total das respostas para a alternativa correta, resultando em 100% de acertos. Esse movimento demonstra que a interação entre os alunos favoreceu a confrontação de ideias, permitindo que concepções alternativas fossem superadas a partir da argumentação e da troca de percepções.

Um comportamento parecido aconteceu no teste seguinte, com menor intensidade, aumentando a taxa de 84,6% para 100%, mas mantendo a tendência de conversão para a resposta correta.

Gráfico 2 – Teste conceitual 2, alternativa correta: C.



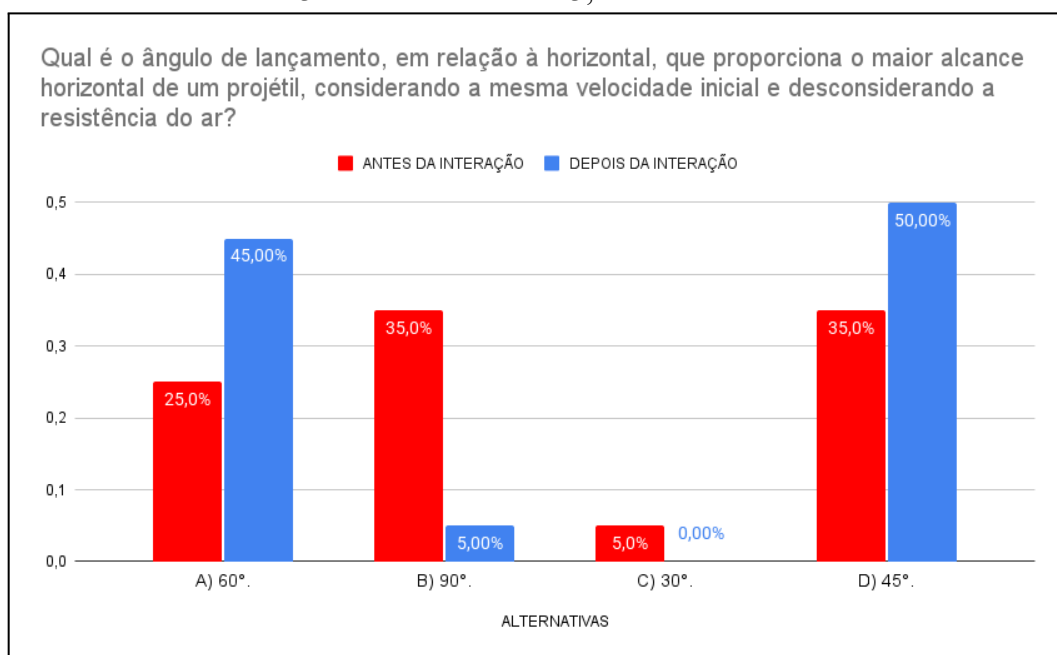
Fonte: Elaborado pelo autor.

O terceiro teste conceitual buscou avaliar a compreensão dos alunos sobre um dos resultados clássicos do lançamento de projéteis: o ângulo que maximiza o alcance horizontal, considerando velocidade inicial constante e ausência de resistência do ar. Antes da discussão entre pares, a turma apresentou uma distribuição bastante dispersa de respostas: apenas 35% dos alunos escolheram a alternativa correta (45°), enquanto os demais se dividiram entre 60° (25%), 90° (35%) e 30° (5%). Esse padrão revela uma concepção equivocada comum — a de que ângulos maiores resultam automaticamente em maiores alcances — evidenciada pela elevada adesão às alternativas de 60° e 90° .

Após o minuto de interação orientado pela metodologia da instrução por colegas, observou-se uma migração parcial para a alternativa correta, que passou a ser marcada por 50% dos alunos. No entanto, diferentemente dos testes anteriores, não houve convergência total. Parte significativa dos alunos manteve a escolha incorreta, principalmente entre as alternativas 60° e 90° , sugerindo que, nesse grupo, os alunos mais influentes — ou aqueles cuja opinião prevaleceu no curto tempo de discussão — sustentam uma concepção alternativa persistente ou ainda não conseguiram convencer seus pares.

Esse resultado evidencia que, embora a interação entre pares seja uma ferramenta poderosa para promover a aprendizagem conceitual, sua eficácia depende fortemente da qualidade da argumentação compartilhada entre os alunos e do tempo disponível para o debate. No caso específico desse teste, o tempo reduzido e a própria natureza contra intuitiva do conceito parecem ter limitado o potencial de correção coletiva, reforçando a importância de intervenções docentes pontuais para desestabilizar concepções robustas e profundamente enraizadas.

Gráfico 3 – Teste conceitual 3, alternativa correta: D.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Apesar da melhora parcial, o resultado final do teste evidencia que alguns conceitos relacionados à cinemática bidimensional permanecem resistentes mesmo após a interação entre pares. Analisamos também que alguns alunos, mesmo guardando uma concepção errada de um conceito, como tinham a aprovação da turma por outros motivos, acabavam muitas vezes convertendo alunos a responderem errado.

Nesse momento a mediação é fundamental, não no sentido de o mediador interferir na discussão, mas após mostrar o resultado final de cada teste, mostrar para os alunos a importância de discutir com argumentos científicos e não levar em consideração apenas quem é mais influente.

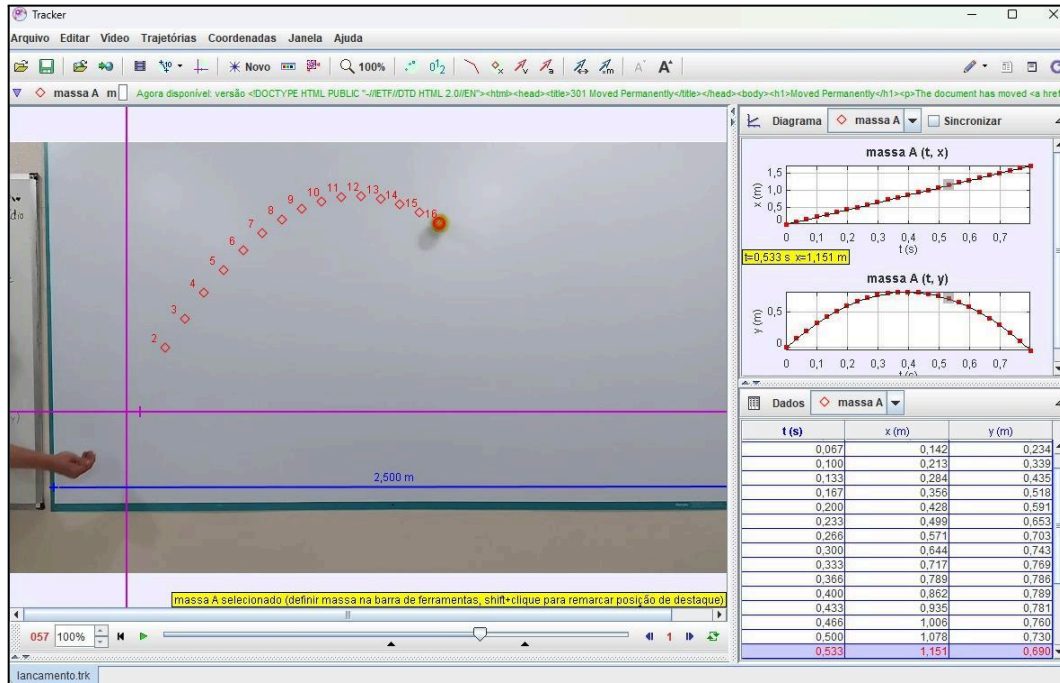
Assim, a ausência de convergência total neste teste não representa necessariamente um fracasso da metodologia, mas indica a necessidade de momentos adicionais de problematização, uso de simulações ou experimentação prática para reforçar o entendimento.

5.3.3 Oficina de lançamento de projéteis

O software *Tracker* tem sido amplamente adotado como ferramenta pedagógica em Física, sobretudo para a análise de movimentos bidimensionais. Wee et al. (2012) evidenciam que o uso do *Tracker* no estudo do movimento parabólico ajuda os alunos a superar concepções alternativas, pois permite a visualização direta e o tratamento gráfico dos dados coletados. Essa abordagem aproxima a atividade escolar de práticas científicas, aspecto essencial para a proposta desta pesquisa, que busca integrar robótica e recursos digitais no ensino do lançamento de projéteis.

Neste sentido, propusemos que os alunos, divididos nos 4 grupos anteriormente formados, desenvolvessem uma atividade que envolvia modelos matemáticos aplicados ao movimento de projéteis, utilizando a aplicação mencionada anteriormente, além do GeoGebra, conforme roteiro disponibilizado no APÊNDICE C.

Inicialmente, os alunos gravaram um vídeo realizando o lançamento de uma bolinha em frente a uma parede, mas poderiam ter feito o download de qualquer vídeo, desde que de qualidade razoável, do lançamento de algum projétil para analisar. Inclusive no site oficial do *Tracker* há modelos disponíveis. Ao gravar o vídeo (baseado em experiências anteriores) é importante criar algum ponto de referência para as medidas utilizadas. Na Figura 6 pode-se observar um frame do vídeo gravado e analisado pelos alunos já na interface do *software*.

Figura 6 – Interface no *Tracker*.

Fonte: O autor, (2025).

O usuário da aplicação pode marcar, a cada frame do vídeo, onde está o objeto o qual se deseja analisar a trajetória. No entanto, dependendo do tempo de vídeo do filme, pode ser um trabalho exaustivo e sem precisão. Convenientemente, este trabalho pode ser automatizado utilizando robótica, de maneira nativa, no próprio *software*.

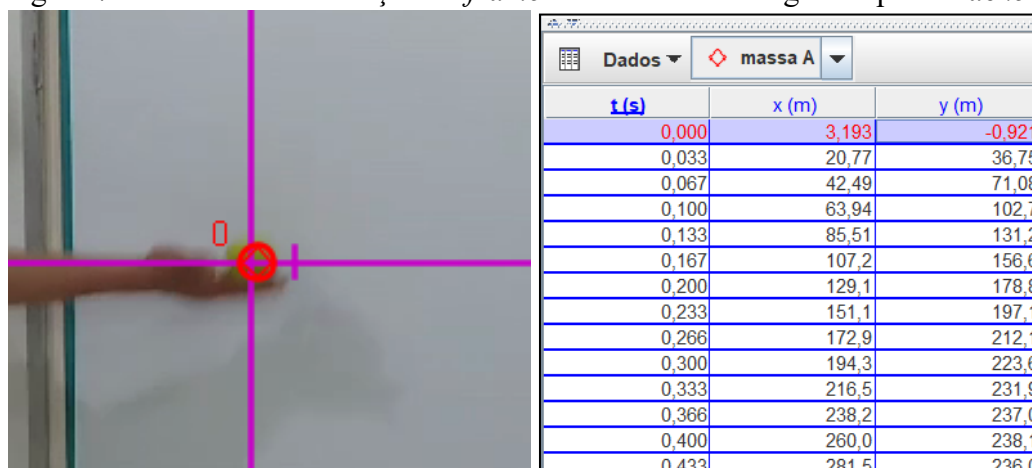
O *Tracker* tem a capacidade de rastrear um objeto a cada frame, a partir de uma configuração feita pelo usuário, onde ele indica qual objeto deve ser rastreado. Quando o usuário seleciona um objeto a ser rastreado no vídeo, o aplicativo gera um modelo e depois, a cada frame, ele pesquisa por este objeto. Caso o modelo coincida, ela marca as coordenadas, de maneira automática e caso não consiga identificar, o usuário tem a opção de marcar manualmente. O usuário também indica algumas medidas de referência e a partir desse ponto o aplicativo rastreia o objeto e gera tabelas e gráficos das posições do objeto em cada instante.

Dependendo de como cada usuário configura a aplicação, os resultados podem ser diferentes para cada grupo. Conforme a Figura 6, percebe-se que há um sistema de eixos rosa que é posicionado pelo aluno, além de uma régua (azul) onde se pode marcar alguma medida de referência do ambiente onde foi capturado o vídeo. Orientou-se que fosse colocado convenientemente sobre a bolinha no primeiro frame do vídeo, no sentido de garantir que neste instante, tivéssemos $t_0 = 0$, $x_0 = 0$ e $y_0 = 0$.

Isso não se concretizou porque alguns alunos não conseguiram determinar com precisão em qual frame a bolinha saía da mão do lançador, não conseguiram posicionar o sistema de eixos exatamente sobre bolinha no primeiro eixo ou ainda não posicionaram adequadamente a régua de medição de referência.

Essas diferenças na configuração do aplicativo não representavam um empecilho para a execução da atividade, mas uma oportunidade para que os alunos interpretassem, por exemplo, o significado de números negativos. Acontece que números negativos muitas vezes tem significado matemático, mas não físico. Por exemplo, encontrar um tempo negativo, faz sentido matematicamente, mas não fisicamente, pois poderia estar se referindo a um evento que aconteceu antes do experimento iniciar de fato, quando a bolinha ainda não tinha sido lançada.

Figura 7 – Detalhe da marcação do *frame* inicial e da tabela gerada pelo *Tracker*.



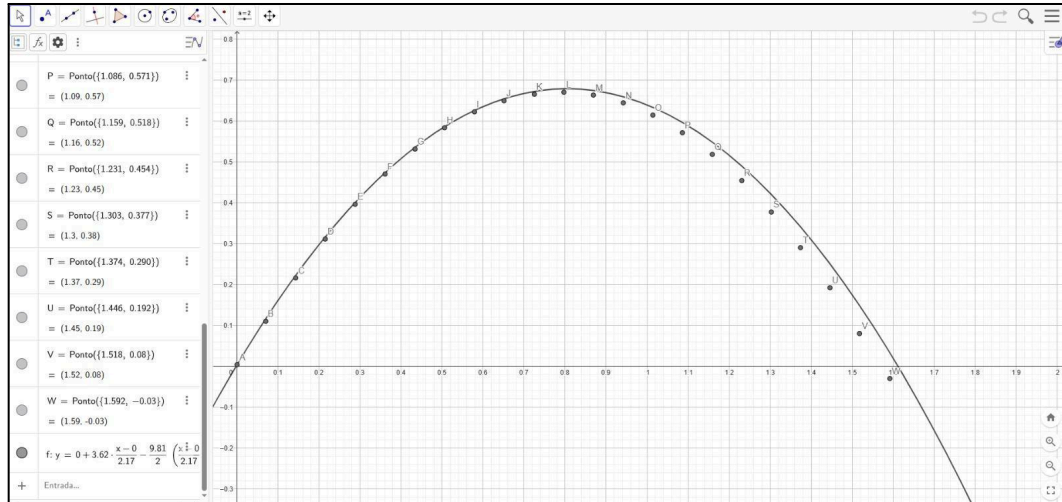
Fonte: O autor, (2025).

Na coluna da altura (eixo y) da figura anterior, podemos ver que $y_0 = -0,921 \text{ m}$. Nem todos os grupos obtiveram valores negativos para um ou outro dado inicial, mas os que obtiveram não souberam interpretar imediatamente e precisaram de mediação do professor para entender que dependia do local onde havia sido marcado o início e que não havia motivo para se preocupar.

Após a obtenção dos dados, e utilizando o roteiro, os alunos puderam determinar, a partir das instruções, várias características do objeto, como velocidades iniciais em cada um dos eixos, alcance máximo vertical e horizontal e até mesmo a aceleração gravitacional do local.

Na Figura 8, pode-se observar um print da tela do Geogebra após um dos grupos plotar os dados experimentais observados. Os pontos marcados manualmente, são os pontos obtidos experimentalmente utilizando o *Tracker*, enquanto o traçado contínuo é o gráfico utilizando um modelo teórico, cujo coeficientes foram obtidos utilizando o passo-a-passo do roteiro.

Figura 8 – Print de tela do Geogebra.



Fonte: O autor, (2025).

É possível notar que há uma pequena diferença entre os dados experimentais (*Tracker*) e a previsão teórica (utilizando os modelos e equações do roteiro), principalmente a partir do ponto onde ocorre o alcance máximo do projétil.

Para plotar o gráfico da Figura 8 (parábola) foi utilizada uma equação deduzida de maneira simples pelo professor junto com a turma. Para obtenção da mesma, basta isolar o tempo na Equação 1 da subseção 5.3.2, que daí obtém-se:

$$t = \frac{x - x_0}{v_{0x}}$$

Depois substituímos este valor na Equação 2, também na subseção 5.3.2:

$$y = y_0 + v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2$$

$$y = y_0 + v_{0y} \frac{x - x_0}{v_{0x}} - \frac{1}{2}g \left(\frac{x - x_0}{v_{0x}} \right)^2$$

Os alunos tiveram que encontrar na tabela do *Tracker* alguns dos valores da equação, como x_0 e y_0 , e outros foram determinados utilizando o passo a passo do roteiro do APÊNDICE C, como v_{0x} e v_{0y} . A constante gravitacional $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ é dada.

Na etapa final da atividade experimental, solicitou-se que os grupos comparassem o modelo teórico do lançamento de projéteis com os dados obtidos por meio da análise do movimento no *Tracker*, identificando eventuais discrepâncias e suas possíveis causas. As respostas dos quatro grupos revelam um padrão comum: todos reconheceram algum nível de diferença entre o modelo idealizado e os dados experimentais, atribuindo essas divergências principalmente a fatores externos ou a limitações do processo de coleta de dados.

O Grupo 1 apresentou uma explicação mais descritiva do que conceitual, indicando que a bolinha “seguiu mais que o modelo”, mas alcançou a altura esperada. Essa resposta sugere que o grupo conseguiu perceber que o movimento experimental permaneceu qualitativamente compatível com o modelo físico — especialmente no que diz respeito ao comportamento vertical influenciado exclusivamente pela gravidade —, ainda que o alcance horizontal tenha sido diferente entre o modelo teórico e a observação experimental. Embora a explicação não utilize termos técnicos como “velocidade inicial”, “componente horizontal” ou “perda de energia”, ela mostra que o grupo percebeu corretamente que a altura máxima foi coerente com o esperado teoricamente. Isso indica uma compreensão parcial do fenômeno, embora ainda pouco fundamentada matematicamente.

Os Grupos 2, 3 e 4 apresentaram respostas mais alinhadas com o discurso típico de análise experimental. Os três mencionam “fatores externos”, “erros de medição”, “interferências”, “resistência do ar”, ou “forças externas”. Esses elementos realmente influenciam o lançamento de projéteis e são causas comuns de divergência entre modelo teórico e dados experimentais. No entanto, a formulação das respostas revela certa generalidade: os grupos identificam fontes plausíveis de erro, mas não relacionam explicitamente como essas interferências afetam as componentes horizontal e vertical do movimento, nem conectam os erros às etapas específicas da análise no *Tracker* — como calibração do referencial, taxa de quadros da filmagem ou marcação manual dos pontos.

Apesar disso, a menção recorrente à resistência do ar e aos erros de medição indica que a atividade contribuiu para que os alunos percebessem a diferença entre modelo matemático idealizado e situação empírica, que é um dos objetivos centrais da Modelagem

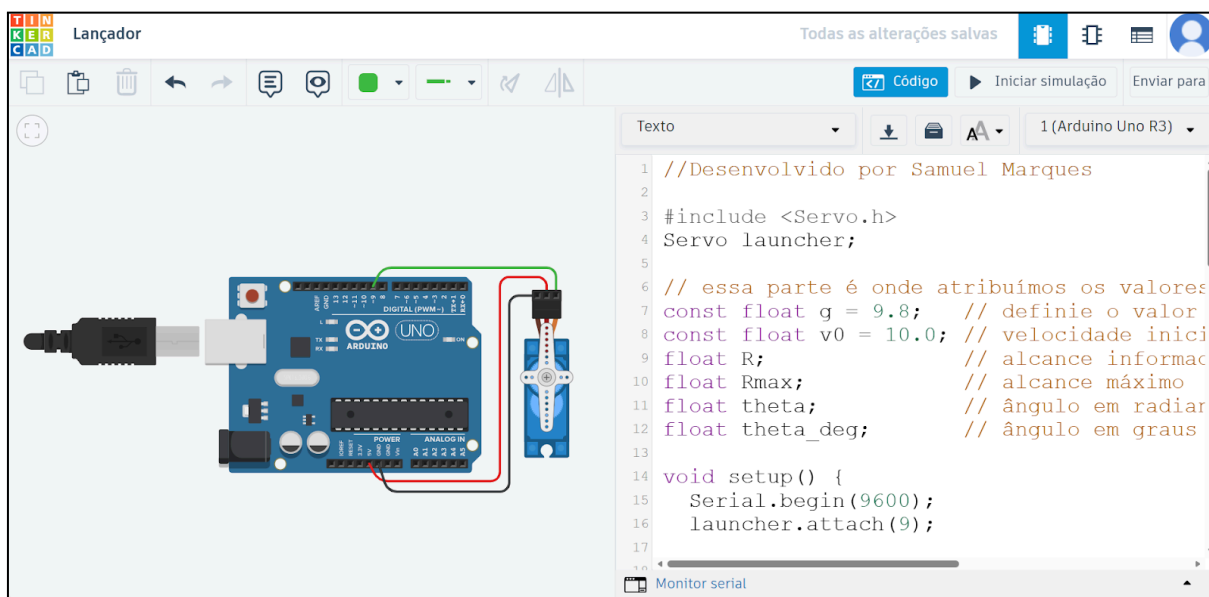
Matemática no ensino. Observa-se também que os alunos absorveram a ideia de que o modelo teórico não é uma reprodução perfeita da realidade, mas uma aproximação que desconsidera certas variáveis.

Finalmente, destaca-se que os quatro grupos identificaram “oscilações nas medidas” ou “discrepâncias nos valores de alcance”. Esse reconhecimento é importante, pois indica que os alunos compreenderam que a coleta de dados no *Tracker* não é isenta de ruído, especialmente em filmagens feitas em ambiente escolar, com iluminação irregular, variações na velocidade de captura, trepidação da câmera ou identificação manual dos quadros.

Em síntese, as respostas demonstram que os alunos conseguiram identificar discrepâncias entre o modelo teórico e os resultados experimentais, reconhecendo a influência de erros de medição e fatores externos. Ainda que as justificativas apresentem um caráter mais qualitativo e pouco aprofundado, elas indicam que a atividade favoreceu a compreensão da natureza aproximativa dos modelos matemáticos e da complexidade envolvida na análise experimental do movimento de projéteis. Esse resultado reforça a importância de atividades práticas mediadas por tecnologia, como o uso do *Tracker*, no desenvolvimento de competências investigativas e na articulação entre teoria e prática no ensino de Física.

Para finalizar esta etapa, realizou-se uma atividade com toda a turma, conduzida pelo professor, utilizando as aplicações no *TinkerCAD*, para simular a prototipagem em Arduíno e a simulação “Movimento do Projétil” na página do *PhET*, para realizar o lançamento de projéteis, com objetivo de consolidar concepções desenvolvidas através das atividades anteriores. Novamente foi estimulado que os alunos discutissem sobre como as aplicações funcionavam e suas limitações.

Figura 9 – Configuração inicial da aplicação “Lançador”.



Fonte: O autor, (2025).

A Figura 9 mostra a programação inicial⁶ da aplicação “Lançador”, desenvolvida no ambiente de prototipagem e programação baseada em Arduino do *TinkerCAD* pelo professor. Basicamente, são atribuídos valores iniciais para as variáveis gravidade (g) e velocidade inicial do projétil (v_0). As outras variáveis flutuantes, como alcance máximo (R_{max}) e os ângulos em radianos e graus ($theta$, $theta_deg$) são calculadas pela aplicação.

Para calcular o alcance máximo, foi desenvolvido com os alunos uma equação que maximiza o alcance horizontal do projétil. O alcance horizontal é dado por:

$$x = x_0 + v_{0x} \cdot t$$

Como $v_{0x} = v_0 \cos\theta$, temos:

$$x = x_0 + v_0 \cos\theta \cdot t$$

Agora note que o tempo de voo t é nada mais que o dobro do tempo de subida t_s , que é dado por:

$$t_s = \frac{v_{0y}}{g}$$

⁶ A programação completa pode ser encontrada no APÊNDICE D

Logo:

$$t = 2t_s = 2 \frac{v_{0y}}{g}$$

Substituindo na primeira equação, obtemos:

$$x = x_0 + v_0 \cos\theta \cdot 2 \frac{v_{0y}}{g}$$

Como $v_{0y} = v_0 \text{sen}\theta$, temos:

$$\begin{aligned} x &= x_0 + v_0 \cos\theta \cdot 2 \frac{v_0 \text{sen}\theta}{g} = \\ &= x_0 + 2 \frac{v_0^2 \text{sen}\theta \cos\theta}{g} = \\ &= x_0 + \frac{v_0^2 \text{sen}2\theta}{g} \end{aligned}$$

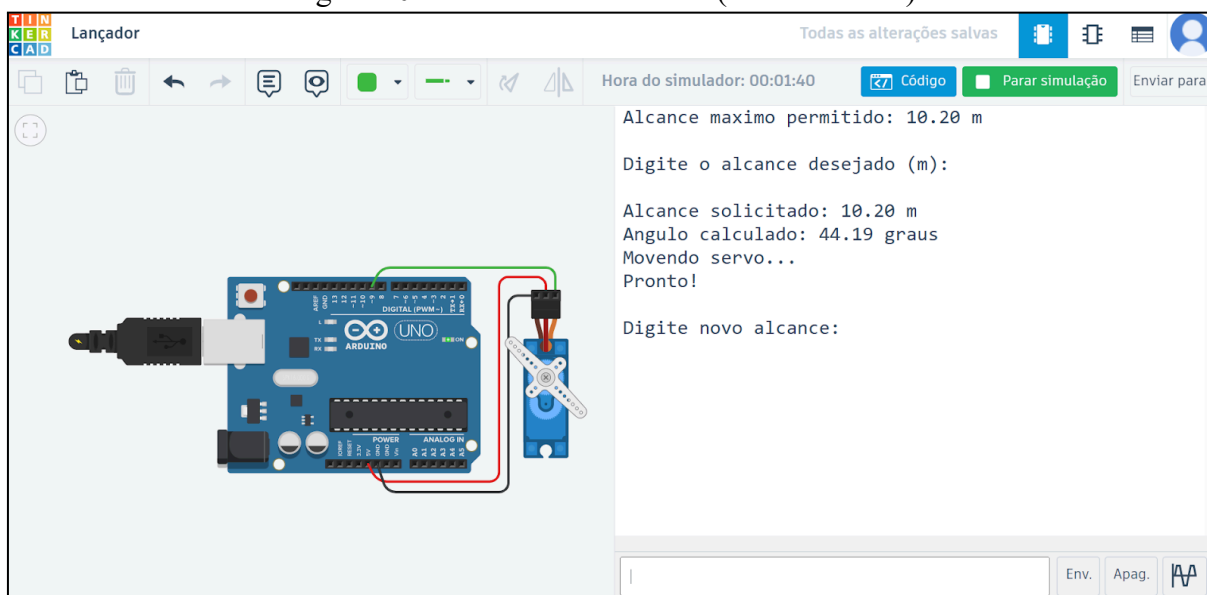
Perceba então que o valor de x é maximizado quando $\theta = 45^\circ$ e então conclua que:

$$x_{\text{máx}} = x_0 + \frac{v_0^2}{g}$$

Essa equação foi adicionada à programação do robô, para mostrar o alcance máximo suportado.

A ideia é que o usuário dê uma entrada com o alcance esperado pelo projétil, a aplicação verifica se o alcance desejado é possível, utilizando um modelo teórico e depois dessa verificação, mostra o ângulo na tela e move o servo para o ângulo desejado.

Figura 10 – Interface do usuário (monitor serial).

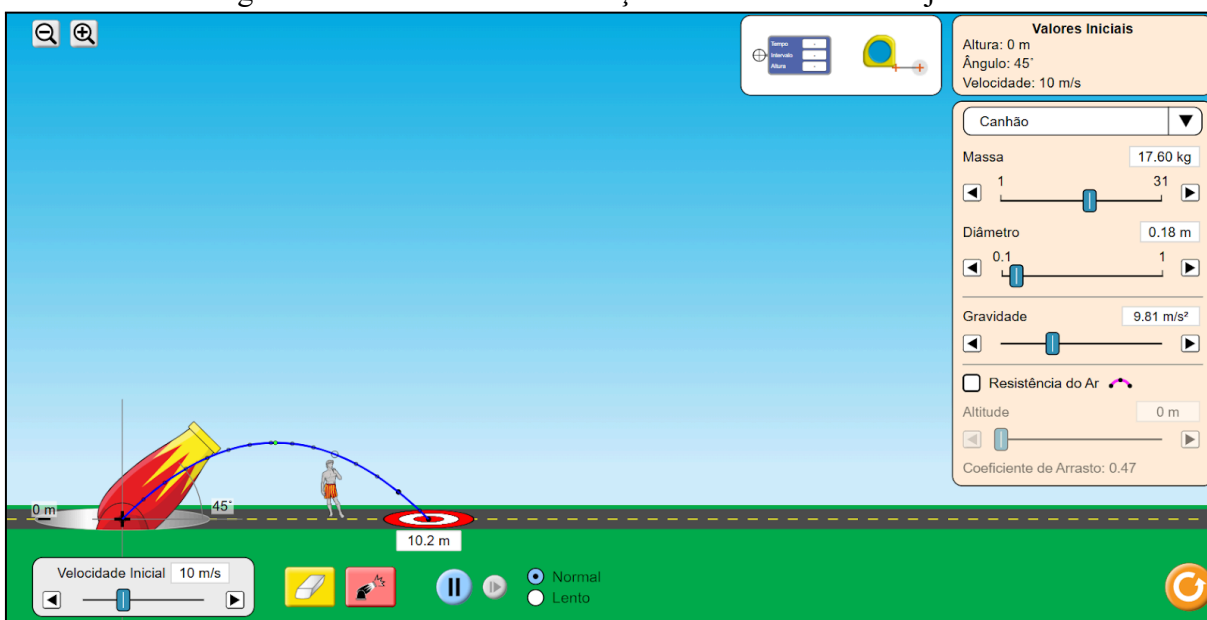


Fonte: O autor, (2025).

O Aluno 9 propôs que fosse digitado na aplicação o alcance máximo (10,2 m). A Figura 9 mostra que o ângulo calculado foi de “44.19 graus”, mas deveria ter sido 45, pois este é o ângulo que maximiza o alcance. Explicou-se que a discrepância se deve a vários processos de simplificação, como arredondamentos que o software realiza, o que é perfeitamente compreensível, já que realizar cálculos matemáticos complexos não é a finalidade principal do aplicativo.

A simulação “Movimento do Projétil”, foi utilizada para verificar se o ângulo calculado pelo Arduino realmente era o ideal para o alcance. A aplicação permite que você regule a velocidade inicial do projétil, a altura inicial e o ângulo de lançamento, e utiliza o mesmo modelo matemático que foi discutido nas intervenções.

Figura 11 – Interface da simulação “Movimento do Projétil”.



Fonte: O autor, (2025).

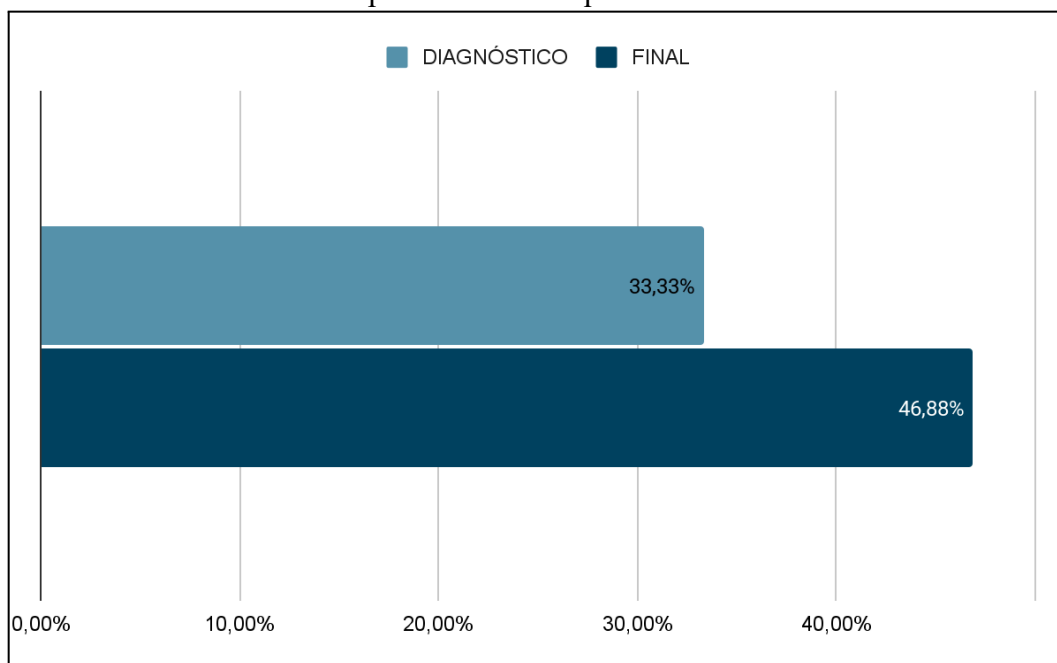
Na Figura 11, podemos observar exatamente a simulação para um ângulo de 45° e velocidade inicial $v_0 = 10\text{m/s}$. Perceba que o alcance é exatamente 10,2 m como previsto teoricamente e programado no aplicativo *TinkerCAD*.

5.3.4 Análise do questionário final

Ao final da atividade com o robô didático, os alunos foram submetidos ao questionário final, APÊNDICE B, com o objetivo de verificar se houve ganho conceitual significativo a partir da sequência didática. Para a análise quantitativa, foram consideradas apenas as seis questões objetivas iguais nos dois testes. É importante dizer que apesar dos testes terem questões iguais, os alunos não tiveram acesso a nenhuma das respostas corretas antes ou depois dos testes e somente terão acesso ao desempenho da turma da publicação dos resultados deste trabalho.

De forma geral, observa-se um aumento no desempenho médio da turma ao comparar os resultados do pré-teste com os do pós-teste. A taxa média de acertos passou de 33,33% no questionário inicial para 46,88% no questionário final, indicando um avanço conceitual global baixo mas positivo após a intervenção didática.

Gráfico 4 – Comparativo entre e questionários inicial e final.

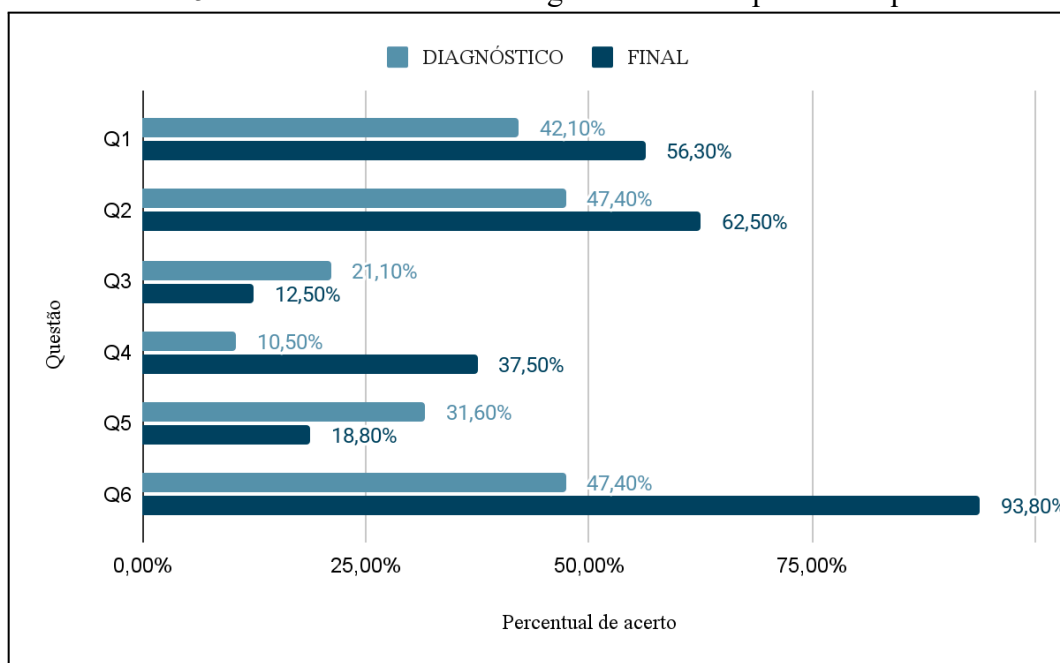


Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse resultado sugere que a sequência didática baseada em atividades práticas, discussões em grupo, no contexto da turma, uso de simulações e Modelagem Matemática contribuiu positivamente para a aprendizagem dos conceitos relacionados ao lançamento de projéteis, ainda que de forma heterogênea entre as diferentes questões analisadas .

Para uma análise mais detalhada, os resultados foram examinados por questão, considerando as taxas de acertos antes e depois da intervenção. O Gráfico 5 evidencia de forma mais clara a evolução do desempenho dos alunos entre o diagnóstico e o questionário final, permitindo visualizar a ampliação da taxa de acertos após a sequência didática, especialmente nas Questões 4 e 6.

Gráfico 5 – Taxas de acertos no diagnóstico e final para cada questão.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Além disso, foi calculado o ganho normalizado de Hake, amplamente utilizado em pesquisas em ensino de Física, com objetivo de avaliar o aprendizado relativo dos alunos (HAKE, 1998). O ganho normalizado é definido por

$$g = \frac{(final - inicial)}{(100 - inicial)}$$

onde os valores do pré-teste e do pós-teste correspondem às porcentagens médias de acertos. Segundo Hake (1998), valores de $g < 0,3$ indicam ganho baixo, valores entre $0,3 \leq g < 0,7$ indicam ganho médio e valores $g \geq 0,7$ correspondem a ganho alto.

A Tabela 4 apresenta as taxas de acertos dos alunos por questão, obtidas no questionário diagnóstico e no questionário final, bem como o ganho normalizado de Hake calculado para cada item avaliado.

Tabela 4 – Taxa de acertos por questão e ganho normalizado.

Questão	Taxa de acertos (diagnóstico)	Taxa de acertos (final)	Ganho de Hake
Q1	42,1%	56,3%	0,24
Q2	47,4%	62,5%	0,29

Q3	21,1%	12,5%	-0,11
Q4	10,5%	37,5%	0,30
Q5	31,6%	18,8%	-0,19
Q6	47,4%	93,8%	0,88
Média	33%	46,88%	0,24

Fonte: Elaborado pelo autor.

A análise da Tabela 4 indica aumento no percentual médio de acertos em quatro das seis questões avaliadas. Destaca-se a Questão 6, que apresentou o maior ganho normalizado, enquanto as Questões 3 e 5 apresentaram ganhos negativos, indicando dificuldades conceituais persistentes mesmo após a intervenção.

5.3.4.1 *Questões com ganho negativo*

A Questão 3, que tratava do sinal da aceleração da gravidade em uma representação matemática, revelou dificuldades persistentes relacionadas às convenções de sinais e à escolha do sistema de referência. A redução no desempenho sugere que as discussões em grupo podem não ter sido suficientes para consolidar esse aspecto conceitual, ou ainda que interpretações incorretas tenham sido reforçadas durante as interações entre os alunos.

Já a Questão 5, que abordava um experimento clássico envolvendo o disparo de um projétil em direção a um alvo que é solto simultaneamente, também apresentou ganho negativo. Esse resultado aponta para dificuldades na integração de conceitos como simultaneidade temporal, movimento relativo e queda livre. Embora esse tipo de questão seja recorrente na literatura em ensino de Física, os dados indicam que sua compreensão exige um nível mais elevado de abstração e mediação docente durante as discussões.

5.3.4.2 *Questões com ganho positivo*

A Questão 1, que abordava a descrição do movimento de um projétil, apresentou um ganho baixo ($g \approx 0,24$). Apesar do aumento no percentual de acertos, parte dos alunos ainda manteve concepções simplificadas, como a ideia de movimento retilíneo influenciado pela gravidade. Esse resultado indica que, embora as atividades tenham promovido avanços, a compreensão plena do caráter bidimensional do movimento parabólico continua sendo um desafio.

A Questão 2, relacionada à atuação da gravidade no movimento do projétil, também apresentou ganho baixo a moderado ($g \approx 0,29$). Observou-se um aumento no reconhecimento da gravidade como responsável por uma aceleração constante na direção vertical, resultado coerente com as discussões realizadas durante as oficinas e com o uso de simulações computacionais, que permitiram visualizar a independência entre os movimentos horizontal e vertical.

A Questão 4, que envolvia a comparação temporal de projéteis com trajetórias diferentes, apresentou um ganho próximo ao limiar de ganho médio ($g \approx 0,30$). Considerando o baixo desempenho inicial nessa questão, o aumento observado após a intervenção sugere que as discussões em grupo e as atividades práticas contribuíram para uma melhor compreensão do papel do tempo de voo no movimento parabólico.

A Questão 6, relacionada ao conceito de Modelagem Matemática, destacou-se com um ganho elevado ($g \approx 0,88$). Esse resultado evidencia um avanço expressivo na compreensão dos alunos sobre o significado de modelar matematicamente um fenômeno físico, passando de concepções mais superficiais para a compreensão da modelagem como representação de situações reais por meio de equações, gráficos e relações matemáticas.

5.3.4.3 *Análise do desempenho geral por aluno*

A Tabela 5 relaciona cada aluno avaliado com seus respectivos desempenhos no questionário diagnóstico e no questionário final. Alunos que não realizaram uma das avaliações foram mantidos na tabela, porém não considerados nos cálculos estatísticos comparativos, evitando a adulteração dos dados.

Tabela 5 – Taxa de acertos por aluno.

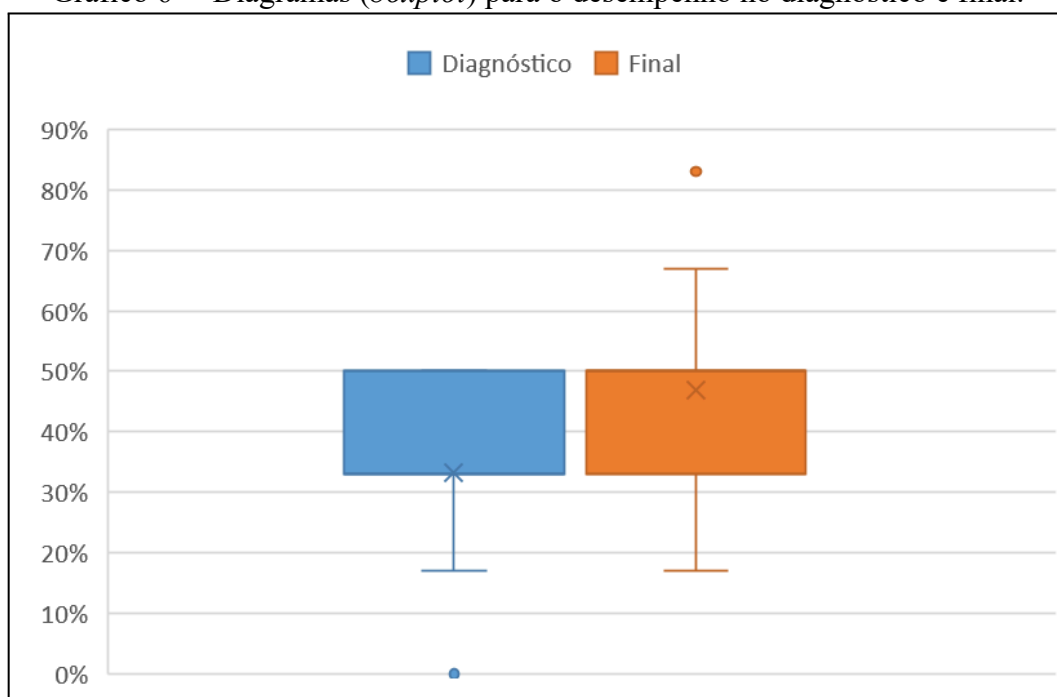
Codinome	Taxa de acertos (diagnóstico)	Taxa de acertos (final)
ALUNO 1	33,0%	50,0%
ALUNO 2	0,0%	50,0%
ALUNO 3	17,0%	50,0%
ALUNO 4	33,0%	17,0%
ALUNO 5	50,0%	
ALUNO 6	50,0%	17,0%
ALUNO 7	50,0%	50,0%

ALUNO 8	33,0%	50,0%
ALUNO 9	33,0%	50,0%
ALUNO 10	33,0%	33,0%
ALUNO 11	0,0%	67,0%
ALUNO 12	17,0%	50,0%
ALUNO 13	33,0%	
ALUNO 14	33,0%	
ALUNO 15	50,0%	67,0%
ALUNO 16	33,0%	33,0%
ALUNO 17	50,0%	50,0%
ALUNO 18	50,0%	83,0%
ALUNO 19	33,0%	33,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Embora alguns alunos tenham apresentado avanços expressivos, outros mantiveram desempenhos semelhantes ou apresentaram variações pouco significativas e pelo menos dois alunos apresentaram decréscimo no desempenho. Com o objetivo de visualizar a distribuição dos desempenhos da turma antes e após a intervenção, apresenta-se o Gráfico 6, mostrando os diagramas de caixa (*boxplot*) referentes à distribuição dos desempenhos dos alunos no questionário diagnóstico e no questionário final.

Gráfico 6 – Diagramas (*boxplot*) para o desempenho no diagnóstico e final.



Fonte: Elaborado pelo autor.

O desvio padrão dos desempenhos dos alunos praticamente não mudou (aproximou-se de 16% nos dois casos), mesmo que o desempenho geral da turma tenha melhorado. Isso indica que não houve uma homogeneidade no ganho conceitual dos alunos, ou seja, alguns alunos tiveram um aumento muito grande no desempenho, enquanto outros nenhum ganho ou até mesmo um decréscimo.

5.3.4.4 *Análise das questões de percepção e questão aberta*

Esta seção apresenta a análise das respostas dos alunos ao questionário de percepção aplicado ao final da sequência didática. O instrumento foi composto por oito questões fechadas, em escala do tipo Likert⁷, e uma questão aberta, destinada à manifestação livre dos alunos acerca da experiência vivenciada.

A análise dos dados foi realizada à luz da Análise de Conteúdo, conforme proposta por Bardin (2016), contemplando as três etapas fundamentais: pré-análise, exploração do material e tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Essa metodologia mostrou-se adequada ao objetivo de compreender as percepções dos alunos sobre a abordagem metodológica adotada, indo além da simples quantificação das respostas.

Na etapa de pré-análise, procedeu-se à organização do *corpus*, constituído pelas respostas dos alunos que participaram voluntariamente do questionário. Observa-se que nem todos os alunos responderam a todas as questões, fato já esperado e mantido intencionalmente, de modo a preservar a fidedignidade dos dados e evitar qualquer forma de adulteração.

As questões fechadas foram agrupadas por afinidade temática, permitindo a identificação de eixos de análise, enquanto as respostas à questão aberta foram lidas integralmente em uma leitura flutuante, buscando identificar recorrências, ideias centrais e aspectos valorizados pelos alunos.

A partir da exploração do material, foram definidas quatro categorias analíticas estabelecidas *a priori*, derivadas dos objetivos da pesquisa e das questões orientadoras, em consonância com a proposta de análise de conteúdo. Durante o processo analítico, tais categorias foram confrontadas com o corpus empírico, permitindo ajustes de natureza interpretativa. As categorias são:

⁷ Instrumento de medida em que o respondente indica seu grau de concordância com uma afirmação, geralmente em uma escala ordinal (por exemplo, de “discordo totalmente” a “concordo totalmente”).

1. Contribuição das atividades práticas e da robótica para a aprendizagem conceitual
2. Interação social e aprendizagem colaborativa
3. Engajamento, interesse e motivação dos alunos
4. Integração entre teoria, prática, Modelagem Matemática e tecnologias

Cada categoria é analisada a seguir, articulando dados quantitativos e qualitativos.

Categoria 1 – Contribuição das atividades práticas e da robótica para a aprendizagem conceitual:

Esta categoria abrange principalmente as questões 1, 5 e 6, que investigam a percepção dos alunos quanto ao papel das atividades práticas, da robótica educacional, dos experimentos e das simulações na compreensão do conteúdo de lançamento de projéteis.

De modo geral, observa-se uma predominância de respostas “Concordo totalmente” e “Concordo parcialmente”, indicando que a maioria dos alunos percebeu o impacto positivo dessas estratégias em sua aprendizagem. Poucos registros de discordância parcial aparecem, e não há discordâncias totais.

As respostas à questão aberta reforçam esse resultado, destacando elementos como:

- compreensão do comportamento do projétil;
- uso de gráficos e cálculos;
- relação entre ângulo de lançamento e alcance;
- visualização do fenômeno por meio de experimentação.

Esses achados dialogam diretamente com Bassanezi (2002) e Nóbrega(2018), que apontam o potencial dessas abordagens para favorecer a aprendizagem conceitual ao aproximar teoria e prática.

Tabela 6 – Respostas às questões de robótica e aprendizagem conceitual.

Questão	Nível de concordância	Frequência	Percentual
1 - As atividades práticas com o robô ajudaram a entender melhor o conteúdo de movimento de projéteis:	Concordo totalmente	10	62,5%
	Concordo parcialmente	6	37,5%
	Discordo (parcial/total)	0	0,0%
5 - A modelagem matemática ajudou você a entender melhor o	Concordo totalmente	9	56,2%
	Concordo parcialmente	6	37,5%

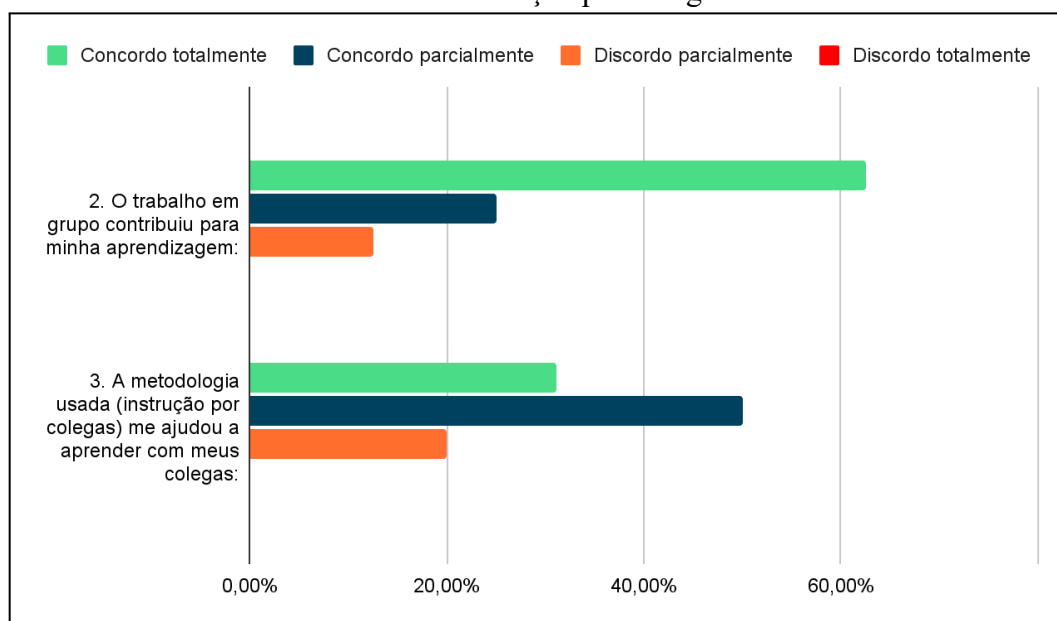
comportamento do projétil lançado pelo robô?	Discordo (parcial/total)	1	6,2%
6. O conteúdo ficou mais fácil de entender com a ajuda dos experimentos e simulações:	Concordo totalmente	11	68,8%
	Concordo parcialmente	5	31,2%
	Discordo (parcial/total)	0	0,0%

Fonte: Elaborado pelo autor.

Categoria 2 – Interação social e aprendizagem colaborativa

Esta categoria envolve as questões 2 e 3, relacionadas ao trabalho em grupo e à metodologia de instrução por colegas. Os dados indicam uma avaliação majoritariamente positiva, embora com maior dispersão em comparação à Categoria 1, incluindo alguns registros de discordância parcial.

Gráfico 7 – Distribuição dos níveis de concordância nas questões sobre trabalho em grupo e Instrução por colegas.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Esse resultado é coerente com estudos sobre aprendizagem colaborativa, que indicam que os efeitos da interação entre pares podem variar conforme o engajamento individual e a dinâmica dos grupos (Crouch; Mazur, 2001; Smith et al., 2009).

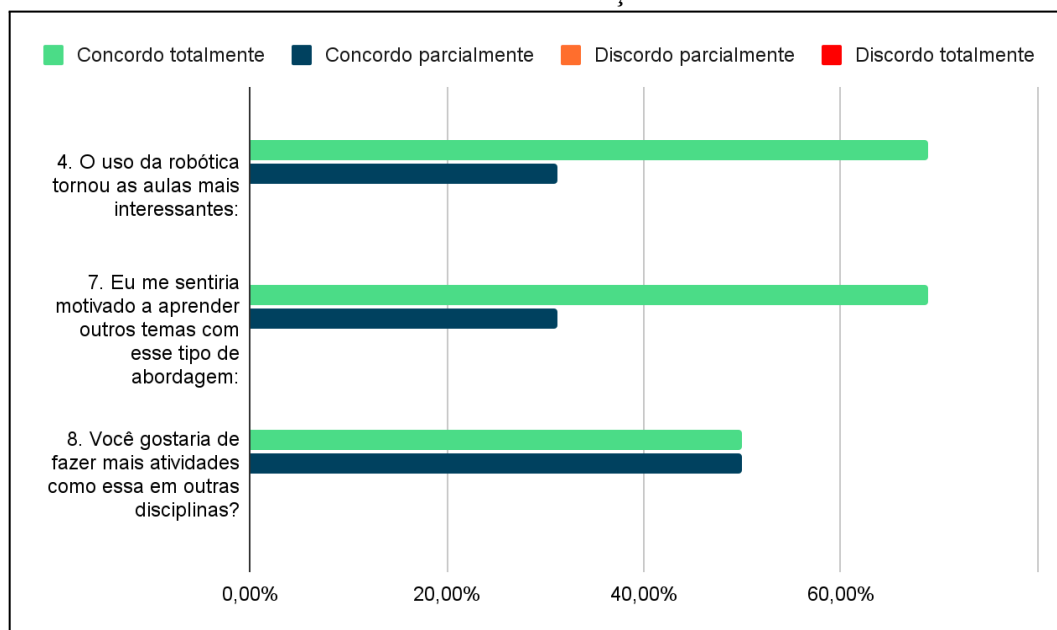
Ainda assim, a maioria dos alunos reconheceu que:

- o trabalho em grupo contribuiu para a aprendizagem;
- aprender com os colegas foi um elemento relevante da experiência.

Categoria 3 – Engajamento, interesse e motivação dos alunos

As questões 4, 7 e 8 compõem esta categoria, investigando o interesse despertado pelas aulas, a motivação para aprender outros conteúdos com a mesma abordagem e o desejo de estender esse tipo de atividade a outras disciplinas.

Gráfico 8 – Distribuição dos níveis de concordância nas questões sobre engajamento, interesse e motivação dos alunos.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados evidenciam um elevado nível de aceitação da proposta. A robótica e as atividades práticas foram amplamente associadas a aulas mais interessantes, e a maioria dos alunos manifestou disposição para participar de experiências semelhantes em outros contextos.

As respostas abertas corroboram esses dados, com expressões como:

- “a experiência foi muito boa”;
- “uniu teoria e prática”;
- “preendeu mais a atenção”;
- “foi algo diferente do que é feito normalmente”.

Esses achados estão em consonância com a literatura que aponta que metodologias ativas e o uso de tecnologias educacionais tendem a aumentar o engajamento e a motivação discente (Mazur, 1997; Brasil, 2018).

Categoria 4 – Integração entre teoria, prática, Modelagem Matemática e tecnologias

Esta categoria emergiu principalmente da análise da questão aberta final “Deixe um comentário sobre o que você achou mais interessante ou diferente nesta experiência”, na qual os alunos destacaram como aspectos mais interessantes:

- uso de gráficos;
- programação;
- análise de dados;
- relação entre ângulos complementares;
- integração entre teoria e prática.

Esses elementos evidenciam que os alunos perceberam a proposta como uma experiência integrada, na qual a Matemática, a Física, a tecnologia e a experimentação não apareceram de forma fragmentada. Tal percepção confirma a coerência da proposta, especialmente no que se refere à Modelagem Matemática associada a experimentos reais e simulações computacionais.

De forma geral, a análise das respostas ao questionário de percepção indica que a proposta metodológica foi bem recebida pelos alunos, tanto do ponto de vista cognitivo quanto motivacional. Os dados sugerem que a integração entre robótica educacional, Modelagem Matemática, simulação e Instrução pelos Colegas contribuiu para:

1. maior compreensão conceitual;
2. aumento do interesse pelas aulas;
3. valorização da aprendizagem colaborativa;
4. percepção positiva da relação entre teoria e prática.

Embora os resultados indiquem uma boa aceitação da proposta pelos alunos, especialmente nos aspectos motivacionais e procedimentais, os ganhos conceituais observados mostraram-se mais modestos do que o inicialmente esperado. Esse resultado sugere que, apesar do elevado engajamento promovido pela integração entre as metodologias de ensino utilizadas, a consolidação conceitual em tópicos de lançamento de projéteis pode demandar um tempo maior de exposição e aprofundamento das atividades.

Do ponto de vista do professor-pesquisador, observou-se que os alunos demonstraram progressos significativos na interpretação de dados, na discussão entre pares e na articulação

entre teoria e prática, ainda que persistem dificuldades na formalização matemática mais rigorosa. Tais evidências indicam que a proposta apresenta forte potencial formativo no âmbito procedimental e atitudinal, ao mesmo tempo em que aponta para a necessidade de ajustes didáticos futuros que ampliem seus impactos sobre a aprendizagem conceitual.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As atividades desenvolvidas nesta pesquisa evidenciam que a integração entre robótica educacional, Modelagem Matemática, simulações computacionais e a metodologia da instrução por colegas pode contribuir de forma significativa para a aprendizagem de conceitos relacionados ao movimento de projéteis no Ensino Médio. Os resultados obtidos nos testes diagnóstico e final indicaram melhorias no desempenho dos alunos, corroboradas tanto pela análise estatística descritiva quanto pelo cálculo do ganho normalizado de Hake.

Além dos avanços conceituais, a análise das respostas discursivas, fundamentada na Análise de Conteúdo de Bardin, revelou percepções positivas dos alunos em relação à abordagem adotada, destacando aspectos como maior engajamento, compreensão dos conceitos e valorização das atividades práticas e colaborativas. Esses resultados reforçam a importância de estratégias pedagógicas que promovam a participação ativa dos alunos e o diálogo entre teoria e prática.

No que se refere ao objetivo geral, os resultados indicam que a proposta foi implementada conforme o planejamento e produziu efeitos positivos, ainda que moderados, na aprendizagem conceitual dos estudantes. Em relação aos objetivos específicos, o diagnóstico das concepções prévias revelou fragilidades importantes, especialmente quanto à composição dos movimentos e à interpretação da modelagem matemática, confirmando a necessidade da intervenção.

A proposta didática foi desenvolvida em grupos heterogêneos, promovendo interação, argumentação e colaboração entre os alunos. A comparação entre os desempenhos antes e depois da intervenção evidenciou ganhos de aprendizagem, ainda que não homogêneos entre todos os estudantes. Por fim, a investigação das percepções indicou ampla aceitação da proposta, com destaque para o engajamento, a valorização das atividades práticas e a percepção positiva da articulação entre teoria e prática.

Assim, no que tange ao problema de pesquisa, os dados sugerem que a integração entre robótica educacional, Modelagem Matemática e Instrução pelos Colegas contribui para o processo de ensino e aprendizagem do lançamento de projéteis no Ensino Médio, especialmente no fortalecimento de aspectos procedimentais, colaborativos e motivacionais. Embora os ganhos conceituais indiquem espaço para aprofundamento em intervenções

futuras, a abordagem mostrou-se pedagogicamente pertinente e promissora no contexto investigado.

O produto educacional desenvolvido mostrou-se adequado ao contexto escolar, podendo ser adaptado a diferentes realidades e conteúdos, o que amplia seu potencial de aplicação. Como limitação da pesquisa, destaca-se a ausência de participação de alguns alunos em uma das etapas avaliativas, o que é aceitável considerando que foi aplicado durante o período regular de aula, mas que não compromete a consistência dos resultados apresentados.

Por fim, espera-se que esta dissertação contribua para reflexões e práticas futuras no ensino de Física e Matemática, incentivando o uso consciente de tecnologias educacionais e metodologias ativas como ferramentas para a construção de aprendizagens mais significativas. No futuro, pretende-se estender abordagens como essa para períodos maiores de intervenção, bem como a adoção de turmas de controle, para fins de comparação nos ganhos de aprendizagem, principalmente conceitual.

REFERÊNCIAS

- ALBERTONI, Neumar Regiane Machado. **Robótica educacional no ensino de matemática: como os conteúdos se fazem presentes**. 2020. Dissertação (Mestrado em Formação Científica, Educacional e Tecnológica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2020.
- ALVES, Gilberto Francisco et al. **Robótica educacional e modelagem matemática: autoria tecnológica e aprendizagem significativa**. Proceedings SBMAC – Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, n. 1, p. 2996-3007, 2020. Disponível em: <https://proceedings.sbmac.org.br/sbmac/article/view/2996>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- ARAUJO, Ives Solano; MAZUR, Eric. **Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida: uma proposta para o engajamento dos alunos no processo de ensino aprendizagem de física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 30, n. 2: p. 362-384, ago. 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/271159062_Instrucao_pelos_colegas_e_ensino_sob_medida_uma_proposta_para_o_engajamento_dos_alunos_no_processo_de_ensino-aprendizagem_de_Fisica. Acesso em 13/03/2026.
- BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BASSANEZI, R. C. **Modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002.
- BAUMER, Edemar; WANNMACHER, Clóvis Moacir; PEREIRA, Rafael. **Contribuições da modelagem matemática e atividades experimentais para o ensino de física**. Revista Multidisciplinar, v. 25, n. 58, p. 1-15, 2025. Disponível em: <https://remunom.ojsbr.com/multidisciplinar/article/view/4184>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BAYONA, D. **Peer instruction as a transformative approach for enhanced academic performance in General Physics I**. Journal of Interdisciplinary Perspectives, v. 4, n. 2, p. 55-68, 2024. Disponível em: <https://jippublication.com/index.php/jip/article/download/1081/826>. Acesso em: 26 ago. 2025.
- BEZERRA DO NASCIMENTO, Rafaela Silva. **A modelagem matemática como proposta pedagógica na perspectiva do ensino da matemática em ambientes informatizados no ensino médio**. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar - ISSN 2675-6218, [S. l.], v. 2, n. 11, p. e211905, 2021. DOI: 10.47820/recima21.v2i11.905. Disponível em: <https://recima21.com.br/recima21/article/view/905>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, DF: MEC/SEB, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 27 dez. 2024.
- BROWN, D. **Tracker: Open Source Physics Tool**. Disponível em: <https://physlets.org/tracker/>. Acesso em: 27 dez. 2024.
- CRESWELL, J. W. **Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. 4. ed. Thousand Oaks: Sage, 2014.

CRONEMBERGER GALVÃO, A. P. N. **Gamificação no Scratch como recurso para aprendizagem potencialmente significativa no ensino da Física: Lançamento de projéteis**. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá. Disponível em: <https://hdl.handle.net/123456789>. Acesso em: 14 jan. 2024.

CROUCH, C. H.; MAZUR, E. **Peer instruction: ten years of experience and results**. *American Journal of Physics*, College Park, v. 69, n. 9, p. 970–977, 2001.

DANIEL, M. F. **A modelagem matemática como panorama para o ensino de Física**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática em Rede Nacional) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru. Disponível em: <https://hdl.handle.net/11449/193738>. Acesso em: 27 dez. 2024.

DILBER, Refik; KARAMAN, Ibrahim; DUZGUN, Bahattin. **High school students' understanding of projectile motion concepts**. *Educational Research and Evaluation*, v. 15, n. 3, p. 203–222, 2009. DOI: 10.1080/13803610902899101. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13803610902899101>. Acesso em: 08 jan. 2025.

EVRIPIDOU, S. et al. Educational robotics platforms, competitions and expected learning outcomes. *IEEE Access*, v. 8, p. 219534–219557, 2020. Acesso em: 09 jan. 2025.

FARIA, André da Silva Ramos de. **Movimento parabólico de projéteis e suas características**. 2012.

GALILEI, G. **Dialogues concerning two new sciences**. Tradução de Henry Crew e Alfonso de Salvio. Nova York: Macmillan, 1914. Disponível em: <https://dn790007.ca.archive.org/0/items/dialoguesconcern00galiuoft/dialoguesconcern00galiuoft.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2025.

GALILEI, G. **The Assayer**. Tradução de Stillman Drake. 1957. Disponível em: <https://web.stanford.edu/~jsabol/certainty/readings/Galileo-Assayer.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2024.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GONÇALVES, André Gustavo de Oliveira. **O movimento parabólico de projéteis: alcance e parábola de segurança**. 2012. 54 f. Monografia (Graduação em Física) – Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

HAKE, R. R. **Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses**. *American Journal of Physics*, v. 66, n. 1, p. 64–74, 1998.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Física 1: Mecânica**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HOHENWARTER, Markus; JONES, Keith. **Ways of linking geometry and algebra: The case of GeoGebra**. In: BRITISH SOCIETY FOR RESEARCH INTO LEARNING MATHEMATICS. *Proceedings...* v. 27, n. 3, p. 126–131, 2007. Acesso em: 21 fev. 2025.

KUHN, J.; VOGT, P. **Smartphones in physics education: effects of learning with video analysis.** *Physics Education*, v. 48, n. 3, p. 302–307, 2013.

LAN, Boon Leong; LIM, Pooi Mee; HO, Patrick W. C. **A modified peer instruction protocol: peer versus teacher's instruction.** arXiv, 2022. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2201.10804>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MAZUR, Eric. *Confessions of a converted lecturer.* YouTube, 2014. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Z9orbxoRofI>. Acesso em: 10 mar. 2026.

MAZUR, Eric. Eric Mazur shows interactive teaching. YouTube, vídeo, 12 min. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=wont2v_LZ1E. Acesso em: 25 out. 2025.

MAZUR, Eric. **Peer Instruction: A User's Manual.** Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1997.

MELO, Marcelo de; BISOGNIN, Eleni. **A modelagem matemática como proposta de itinerário formativo para o novo ensino médio.** *Revista Internacional de Pesquisa em Educação Matemática (RIPEM)*, v. 12, n. 1, p. 188-205, 2022. Disponível em: <https://www.sbembrasil.org.br/periodicos/index.php/ripem/article/view/2540>. Acesso em: 26 ago. 2025.

MORAN, José Manuel. **Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda.** In: BACICH, Lilian; MORAN, José Manuel (org.). *Metodologias ativas para uma educação inovadora.* Porto Alegre: Penso, 2018. p. 1–25.

MOREIRA, M. P. C.; ROMEU, M. C.; ALVES, F. R. V.; SILVA, F. R. O. **Contribuições do Arduino no ensino de Física: uma revisão sistemática de publicações na área do ensino.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 35, n. 3, p. 721–745, 2018.

NASCIMENTO, C. B. C.; et al. **A metodologia ativa de instrução pelos colegas associada a experimentos de cinemática no ensino de Física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 42, e20190162, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0162>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/xsRLncXnJ3c9V9VqXYQfc3z/>. Acesso em: 10 mar. 2026. Acesso em: 27 dez. 2024.

NORONHA, C. B.; SILVA, A. J. C. **Robótica educacional no Brasil: uma revisão sistemática de literatura.** *Educação*, v. 29, n. 142, 2025.

ÖZ, Ayşe. **Effects of peer instruction on academic achievement: A meta-analysis.** *International Journal of Instruction*, v. 16, n. 4, p. 685–706, 2023. DOI: 10.29333/iji.2023.16437a.

PAPERT, Seymour. **Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas.** New York: Basic Books, 1980.

PERKINS, Katherine K.; ADAMS, Wendy K.; DUBSON, Michael; FINKELSTEIN, Noah D.; WIEMAN, Carl E. **PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics.** *The Physics Teacher*, v. 44, n. 1, p. 18–23, 2006.

SANTOS, Rodrigo Damaceno dos. **Robótica educacional e competições: desenvolvendo habilidades matemáticas através da tecnologia**. 2024. Dissertação (Mestrado Profissional em Matemática) – Universidade de Brasília, Brasília, 2024. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/52180>. Acesso em: 26 ago. 2025.

SILVA, Maria Luísa Santos; MADRUGA, Zulma Elizabete de Freitas. **Modelagem Matemática e Processos Criativos: mapeamento de pesquisas recentes**. Revista Paranaense de Educação Matemática, 2021.

SMITH, M. K. et al. **Why peer discussion improves student performance on in-class concept questions**. Science, Washington, v. 323, n. 5910, p. 122–124, 2009.

VALENTE, José Armando. **Blended learning e as mudanças no ensino superior: a proposta da sala de aula invertida**. Educar em Revista, Curitiba, n. 4, p. 79–97, 2014.

WALLEY, Stephen M. **Aristotle, projectiles and guns**. arXiv, 2018. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1804.00716>. Acesso em: 27 dez. 2024.

WEE, Loo Kang; CHEW, Charles; GOH, Giam Hwee; TAN, Samuel; LEE, Tat Leong. **Using Tracker as a pedagogical tool for understanding projectile motion**. arXiv, 2012. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1206.6489>. Acesso em: 17 mar. 2025.

YILDIRIM, Tamer; CANPOLAT, Nurtaç. **An Investigation of the Effectiveness of the Peer Instruction Method on Teaching about Solutions at the High-School Level**. Education and Science, v. 44, n. 199, p. 127–147, 2019.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

PROJETO DE PESQUISA – QUESTIONÁRIO DIAGNÓSTICO

Título da pesquisa: *Robótica educacional e modelagem matemática: teoria e prática desenvolvidas através da instrução por colegas no ensino de Física*

Pesquisador: Samuel da Silva Marques **aluno:** _____

Instruções:

Este questionário tem como objetivo diagnosticar conhecimentos prévios e percepções dos alunos sobre o conteúdo de movimento de projéteis, modelagem matemática, robótica educacional e trabalho em grupo. As respostas são confidenciais e serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa educacional.

1. Como podemos descrever o movimento de um projétil?

- Um movimento em linha reta, influenciado pela gravidade.
- Um movimento que ocorre em duas dimensões, com uma componente horizontal e outra vertical influenciada pela gravidade.
- Um movimento circular ao redor de um ponto fixo.
- Um movimento retilíneo uniforme sem influência da gravidade.

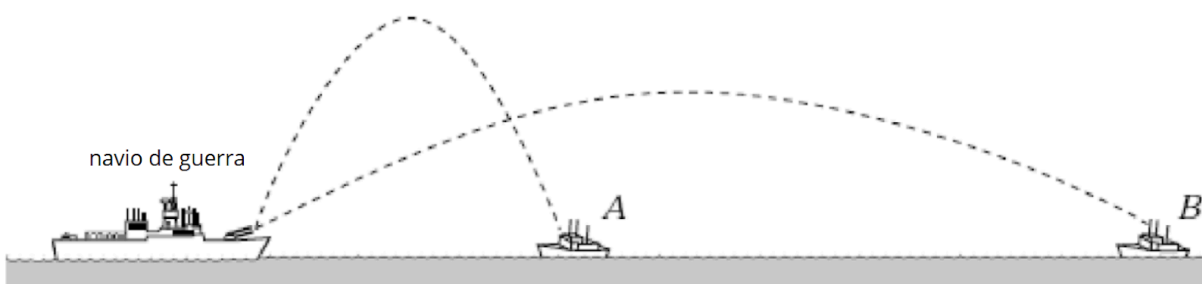
2. Como a gravidade afeta o movimento de um projétil?

- Atua apenas na componente horizontal do movimento.
- Afeta apenas a velocidade inicial do projétil.
- Atua continuamente na direção vertical, causando uma aceleração constante para baixo.
- Não tem efeito sobre o movimento.

3. Para representar a gravidade g atuando em um projétil por meio de uma equação, qual deve ser o sinal?

- Positivo.
- Negativo.
- Positivo na subida e negativo na descida.
- Negativo na subida e positivo na descida.

4. Um navio de guerra dispara simultaneamente dois projéteis contra navios inimigos. Se os projéteis seguem trajetórias parabólicas diferentes, qual navio é atingido primeiro?



- A
- Os dois ao mesmo tempo.

- c) B
- d) Precisa de mais informação.

5. Um experimento consiste em disparar um projétil contra um alvo suspenso. No momento exato do disparo, o alvo é solto e começa a cair. O que acontece?

- a) O projétil atinge o alvo, independentemente da velocidade inicial.
- b) O projétil atinge o alvo apenas se a velocidade for suficientemente alta.
- c) O projétil passa abaixo do alvo.
- d) O projétil erra o alvo.

6. Você já ouviu falar sobre modelagem matemática no contexto escolar?

- a) Sim, já usei em aulas de Física ou Matemática.
- b) Já ouvi falar, mas não sei bem o que é.
- c) Não, nunca ouvi falar.
- d) Acho que sim, mas não lembro o conteúdo.

7. Em sua opinião, modelar matematicamente um fenômeno significa:

- a) Resolver cálculos para decorar fórmulas.
- b) Representar uma situação real com equações e gráficos.
- c) Utilizar computadores para desenhar figuras geométricas.
- d) Imitar um fenômeno usando brinquedos ou simulações.

8. Você já teve contato com robôs ou kits de robótica educacional?

- a) Sim, já participei de aulas ou oficinas.
- b) Sim, mas apenas como observador.
- c) Não, mas tenho interesse.
- d) Não, e não vejo utilidade nisso.

9. Você se sentiria mais motivado a estudar Física com o uso de robôs e experimentos práticos?

- a) Sim, com certeza.
- b) Talvez, se forem bem explicados.
- c) Não vejo diferença.
- d) Prefiro apenas teoria e exercícios.

10. Em trabalhos em grupo, você costuma:

- a) Preferir trabalhar sozinho.
- b) Ajudar e aprender com os colegas.
- c) Fazer sua parte separadamente.
- d) Esperar que alguém lidere.

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO FINAL

Título da pesquisa: *Robótica educacional e modelagem matemática: teoria e prática desenvolvidas através da instrução por colegas no ensino de Física*

Pesquisador: Samuel da Silva Marques **aluno:** _____

Instruções:

Este questionário tem como objetivo de revelar conhecimentos adquiridos e percepções dos alunos sobre o conteúdo de movimento de projéteis, modelagem matemática, robótica educacional e trabalho em grupo além de percepção dos alunos sobre as atividades realizadas. As respostas são confidenciais e serão utilizadas exclusivamente para fins de pesquisa educacional.

1. Como podemos descrever o movimento de um projétil?

- Um movimento em linha reta, influenciado pela gravidade.
- Um movimento que ocorre em duas dimensões, com uma componente horizontal e outra vertical influenciada pela gravidade.
- Um movimento circular ao redor de um ponto fixo.
- Um movimento retilíneo uniforme sem influência da gravidade.

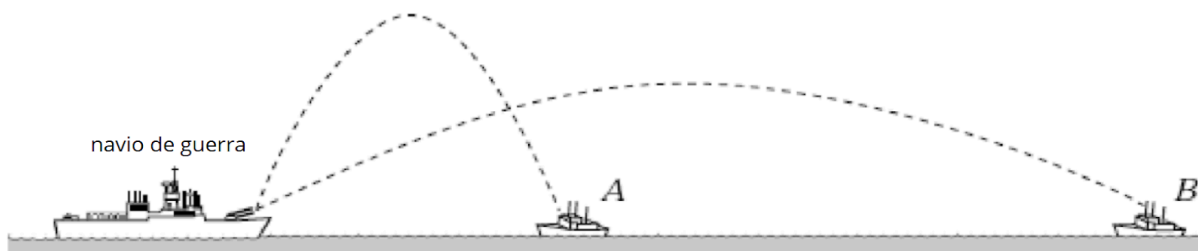
2. Como a gravidade afeta o movimento de um projétil?

- Atua apenas na componente horizontal do movimento.
- Afeta apenas a velocidade inicial do projétil.
- Atua continuamente na direção vertical, causando uma aceleração constante para baixo.
- Não tem efeito sobre o movimento.

3. Para representar a gravidade g atuando em um projétil por meio de uma equação, qual deve ser o sinal?

- Positivo.
- Negativo.
- Positivo na subida e negativo na descida.
- Negativo na subida e positivo na descida.

4. Um navio de guerra dispara simultaneamente dois projéteis contra navios inimigos. Se os projéteis seguem trajetórias parabólicas diferentes, qual navio é atingido primeiro?



- A
- Os dois ao mesmo tempo.
- B
- Precisa de mais informação.

5. Um experimento consiste em disparar um projétil contra um alvo suspenso. No momento exato do disparo, o alvo é solto e começa a cair. O que acontece?

- a) O projétil atinge o alvo, independentemente da velocidade inicial.
- b) O projétil atinge o alvo apenas se a velocidade for suficientemente alta.
- c) O projétil passa abaixo do alvo.
- d) O projétil erra o alvo.

6. Em sua opinião, modelar matematicamente um fenômeno significa:

- a) Resolver cálculos para decorar fórmulas.
- b) Representar uma situação real com equações e gráficos.
- c) Utilizar computadores para desenhar figuras geométricas.
- d) Imitar um fenômeno usando brinquedos ou simulações.

Instruções: Nas próximas questões, marque a alternativa que melhor representa sua opinião sobre a experiência vivenciada durante as aulas sobre lançamento de projéteis com robótica e modelagem matemática.

1. As atividades práticas com o robô ajudaram a entender melhor o conteúdo de movimento de projéteis:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

2. O trabalho em grupo contribuiu para minha aprendizagem:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

3. A metodologia usada (instrução por colegas) me ajudou a aprender com meus colegas:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

4. O uso da robótica tornou as aulas mais interessantes:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

5. A modelagem matemática ajudou você a entender melhor o comportamento do projétil lançado pelo robô?

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

6. O conteúdo ficou mais fácil de entender com a ajuda dos experimentos e simulações:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

7. Eu me sentiria motivado a aprender outros temas com esse tipo de abordagem:

- Concordo totalmente
- Concordo parcialmente
- Discordo parcialmente
- Discordo totalmente

8. Você gostaria de fazer mais atividades como essa em outras disciplinas?

- Sim
- Talvez
- Não

9. Deixe um comentário sobre o que você achou mais interessante ou diferente nesta experiência.

APÊNDICE C – ROTEIRO DE ATIVIDADE PRÁTICA UTILIZANDO RASTREAMENTO DE PROJÉTIL

PROFESSOR SAMUEL MARQUES - UFFS - CAMPUS CHAPECÓ

OBJETIVOS

Rastrear o movimento de um projétil através do aplicativo *Tracker*;
 Obter tabelas do deslocamento horizontal e vertical, bem como os respectivos intervalos de tempo;
 Criar gráficos utilizando o planilhas ou o excel baseado nos dados do tracker;
 Determinar o alcance máximo do projétil na vertical e na horizontal;
 Determinar o tempo de voo do projétil;
 Calcular as componentes da velocidade na horizontal e na vertical;
 Calcular a velocidade inicial do projétil;
 Comparar os dados experimentais com o modelo teórico.

RECURSOS NECESSÁRIOS

Computador com os aplicativos *Tracker*, *Excel* ou *Google Planilhas* e software gráfico com suporte pra inserção de funções, como o *Geogebra* ou o *Desmos*.
 Material escolar convencional; papel, caneta e calculadora (de preferência científica).

CAMINHO METODOLÓGICO

Em grupos previamente definidos pelo professor, realizem a atividade de acordo com a sequência abaixo, **sempre seguindo as instruções do professor**.

- 1 - Abra o aplicativo *Tracker* e carregue o vídeo a ser analisado;
- 2 - Defina os pontos onde irá começar e terminar a análise do movimento do projétil e utilize a ferramenta régua para dar a referência de medida de algum objeto no local do vídeo do qual se saiba as dimensões;
- 3 - Use a ferramenta de rastreio para definir o que o aplicativo deve buscar, se for necessário, algumas medidas podem ser feitas manualmente;
- 4 - Obtenha a tabela com os intervalos de tempo e as medidas nos eixos x e y e escreva em uma planilha do excel ou do google planilhas;
- 5 - Crie os gráficos x versus t e y versus t para esses dados;
- 6 - Encontre na tabela as coordenadas correspondentes ao alcance máximo na horizontal, ao alcance máximo na vertical, bem como os intervalos onde esses eventos acontecem;
- 7 - Utilize esses dados para determinar a velocidade média v_m na horizontal, que também corresponde a velocidade inicial em x v_{0x} e que pode ser feita dividindo o alcance máximo na horizontal pelo intervalo de tempo $t_{x\text{máx}}$ onde esse alcance acontece:

$$v_m = v_{0x} = \frac{x_{m\acute{a}x}}{t_{xm\acute{a}x}}$$

8 - Utilize esses dados para determinar a velocidade inicial v_{0y} na vertical, que pode ser feito de duas maneiras:

a - Utilizando o alcance máximo na vertical $y_{m\acute{a}x}$ e a gravidade g , através da **Equação de Torricelli**:

$$v_{0y} = \sqrt{2gy_{m\acute{a}x}}$$

b - Utilizando a fórmula da aceleração:

$$v_{0y} = gt_{ym\acute{a}x}$$

Onde $t_{xm\acute{a}x}$ é o instante onde ocorre o alcance máximo na vertical $y_{m\acute{a}x}$

Utilize $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$

9 - Utilizando agora os valores de v_{0x} e v_{0y} , obtenha a velocidade inicial v_0 com a qual o projétil foi lançado, através do **Teorema de Pitágoras**:

$$v_0 = \sqrt{v_{0y}^2 + v_{0x}^2}$$

10 - Obtenha o cosseno do ângulo $\cos(\theta)$ com a horizontal com que o projétil foi lançado:

$$\cos(\theta) = \frac{v_{0y}}{v_0}$$

11 - Obtenha a tangente do ângulo $\tan(\theta)$:

$$\tan(\theta) = \frac{v_{0y}}{v_{0x}}$$

12 - Utilize o geogebra ou outro software gráfico para obter a curva de acordo com o modelo teórico, substituindo as variáveis pelos valores que você encontrou:

$$y = y_0 + v_{0y} \frac{x-x_0}{v_{0x}} - \frac{1}{2} g \left(\frac{x-x_0}{v_{0x}} \right)^2$$

13 - Por fim, compare os resultados obtidos com seus colegas. Verifique se há diferenças significativas entre o modelo teórico e os dados obtidos experimentalmente, bem como apontam as possíveis causas dessa discrepância. Uma dica é analisar pontos críticos dos dois gráficos, como alcance horizontal e vertical máximos.

Bom trabalho

APÊNDICE D – CÓDIGO BASE APLICAÇÃO ARDUINO

```
//Desenvolvido por Samuel Marques

//inclusão da biblioteca de comando dos servos
#include <Servo.h>
Servo launcher; //dá um nome pro servo

// essa parte é onde atribuímos os valores iniciais e definimos as variáveis
const float g = 9.8; // defina o valor da gravidade
const float v0 = 10.0; // velocidade inicial fixa (m/s)
float R; // alcance informado
float Rmax; // alcance máximo
float theta; // ângulo em radianos
float theta_deg; // ângulo em graus

void setup() {
  Serial.begin(9600); // inicia a comunicação com o monitor serial
  launcher.attach(9); // indica em qual pino o microservo está conectado

  // cálculo do alcance máximo
  Rmax = (v0 * v0) / g; // a partir de v0, calcula qual o alcance máximo

  Serial.println("=== Sistema de Lançamento Arduino ===");
  Serial.print("Velocidade inicial fixa: ");
  Serial.print(v0);
  Serial.println(" m/s");

  Serial.print("Alcance maximo permitido: ");
  Serial.print(Rmax, 2);
  Serial.println(" m");

  Serial.println("\nDigite o alcance desejado (m): ");
}
```

```
void loop() {  
  if (Serial.available()) {  
    R = Serial.parseFloat();  
  
    if (R <= 0) return;  
  
    Serial.print("\nAlcance solicitado: ");  
    Serial.print(R);  
    Serial.println(" m");  
  
    // verifica limite  
    if (R > Rmax) {  
      Serial.println("ERRO: Alcance maior que o permitido!");  
      Serial.println("Escolha um valor <= alcance maximo.");  
      return;  
    }  
  
    // calcula o angulo  
    float argument = (g * R) / (v0 * v0);  
    theta = 0.5 * asin(argument);  
    theta_deg = theta * 180.0 / 3.14159265;  
  
    Serial.print("Angulo calculado: ");  
    Serial.print(theta_deg, 2);  
    Serial.println(" graus");  
  
    Serial.println("Movendo servo...");  
    launcher.write(theta_deg); // envia ângulo ao servo  
  
    Serial.println("Pronto!");  
    Serial.println("\nDigite novo alcance: ");  
  }  
}
```