

Inovação e engajamento no ensino de espectroscopia óptica: O uso do Espectrofotômetro Arduino em uma sequência investigativa

Pedro Henrique Santos Oliveira¹, Cintia Garrido Pinheiro Orlando², Carlos Augusto Cardoso Passos³, José Luis Passamai Junior⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo, pedrohenrique.academico@gmail.com

²Departamento de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), cgporlando@gmail.com

³Departamento de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), carlos.passos@ufes.br

⁴Departamento de Física, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), jose.passamai@ufes.br

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, diversos documentos orientadores, como a LDB (LDB, 1996), os PCN (Brasil, 2000) e PCN+ (Brasil, 2002), têm reforçado a necessidade de inserir conteúdos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no Ensino Médio. Nesses textos estão reconhecido que temas ligados às ciências básicas são essenciais para a formação crítica dos estudantes diante das tecnologias e questões socioambientais contemporâneas (Veloso; Sousa; Macêdo, 2022). No entanto, embora tais diretrizes apontem a importância da FMC, sua implementação ainda enfrenta limitações, como escassez de recursos laboratoriais, dificuldades de formação docente e prevalência de modelos tradicionais de ensino (THIARA et al., 2022).

A literatura da área de Ensino de Física tem buscado responder a esses desafios propondo metodologias e materiais que favoreçam a inserção da FMC na escola (Gonçalves; Cabral Neto, 2024; Hansson; Leden; Pendrill, 2019; Peres et al., 2020). Estudos destacam que esses conteúdos podem ampliar o interesse dos estudantes, fortalecer a compreensão da natureza da ciência e favorecer a leitura crítica de fenômenos do cotidiano (Christian; Esquembre; Barbato, 2011; Post-Zwicker et al., 1999). Para isso, abordagens experimentais e metodologias ativas têm se mostrado promissoras, especialmente quando favorecem o contato direto com fenômenos luminosos e com tecnologias contemporâneas (Buongiorno; Michelini, 2019; Michelini; Santi; Stefanel, 2016; Mihaela Garabet; Cristina Miron; Ioan Neacșu, [s.d.])

Entre essas abordagens, o Ensino de Ciências por Investigação (EnCI) diferencia-se de uma aplicação genérica de metodologias ativas por sua fundamentação em uma epistemologia que reconhece a ciência como construção humana, social e histórica. Mais do que um conjunto de técnicas de engajamento, o EnCI é uma abordagem estruturante que exige a intencionalidade pedagógica no planejamento de situações-problema. Estas devem possibilitar que os estudantes, ao enfrentarem desafios experimentais, mobilizem conhecimentos prévios e desenvolvam raciocínio

científico — como a elaboração de hipóteses e a análise de evidências — em uma dinâmica de negociação de significados, conforme preconizado por Carvalho (2013).

Nessa perspectiva, o estudante é orientado a formular hipóteses, coletar evidências, analisar dados e comunicar resultados, aproximando a sala de aula de práticas científicas autênticas (Andriyani; Budi; Astra, 2019; Lee, 2012). Na área de óptica e espectroscopia, pesquisas indicam que atividades investigativas que envolvem análise de espectros, transições energéticas e uso de instrumentos experimentais contribuem para superar dificuldades conceituais e engajar os alunos em práticas de raciocínio científico (Buongiorno; Michelini, 2021; Carpentieri et al., 2023). Diante dos altos custos de equipamentos ópticos escolares — como espectrofotômetros — muitos contextos educacionais carecem de infraestrutura adequada para aulas experimentais. Nesse cenário, tecnologias acessíveis como o Arduino surgem como alternativas viáveis, permitindo a construção de dispositivos de baixo custo capazes de auxiliar na compreensão da interação luz-matéria (Jiménez Salazar; Rivera Manrique, 2024; Kelly; Rocha; Germano, 2017). Assim, integrar essas tecnologias a atividades investigativas representa uma oportunidade concreta para democratizar o ensino experimental de FMC.

Este relato apresenta uma experiência de implementação de uma sequência didática investigativa sobre espectroscopia óptica, realizada com estudantes do Ensino Médio de uma escola pública do Espírito Santo. A proposta integra práticas experimentais com um espectrofotômetro de baixo custo construído com Arduino, alinhando-se às competências previstas pela BNCC e ao currículo estadual de Física. O objetivo da experiência foi favorecer a compreensão conceitual dos estudantes, promover engajamento investigativo e aproximá-los de práticas científicas contemporâneas, especialmente no estudo de propriedades da luz e suas aplicações.

METODOLOGIA

A experiência foi desenvolvida em uma escola pública do Espírito Santo, com 44 estudantes da 2ª série do Ensino Médio, entre 16 e 18 anos. A proposta foi estruturada como sequência de Ensino por Investigação (SEI), fundamentada nos trabalhos de Carvalho (2013), que organiza o processo investigativo em problematização, formulação de hipóteses, aplicação dos conceitos, obtenção e tratamento de dados e comunicação das conclusões. Todos os estudantes participaram voluntariamente, mediante assinatura de Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

A sequência didática foi aplicada entre outubro e novembro de 2023, integrando conteúdos de óptica e espectroscopia previstos pela BNCC e pelo currículo estadual. As atividades foram planejadas para consolidar conhecimentos prévios de óptica geométrica e, ao mesmo tempo, introduzir fenômenos de absorção e emissão de luz apoiados em experimentação.

A intervenção iniciou-se com uma visita técnica ao Centro de Desenvolvimento Sustentável Guaçu-Virá, onde os alunos registraram vlogs sobre a importância da água e práticas sustentáveis. Esses vídeos serviram como ponto de partida para despertar curiosidade e situar a temática ambiental, utilizada como contexto da investigação.

Em seguida, os estudantes participaram de atividades práticas em laboratório didático, envolvendo:

- (a) construção e uso de um espectroscópio caseiro para observar espectros de diferentes fontes luminosas;
- (b) estudo da interação luz–matéria por meio de experimentos guiados;
- (c) utilização de um espectrofotômetro de baixo custo baseado em Arduino (ver Figura 1), previamente construído pelos pesquisadores, para análise da transmitância de amostras de água.

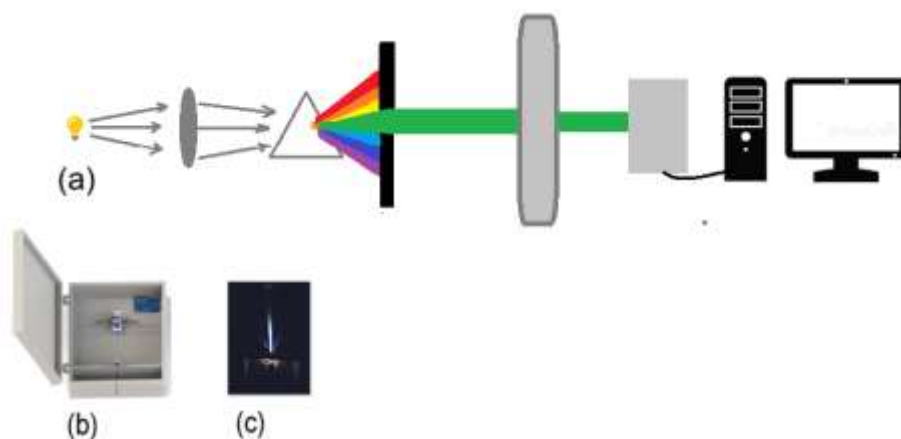
As tarefas foram realizadas em grupos, estimulando colaboração, levantamento de hipóteses, registro de evidências e discussão dos resultados. Para a análise qualitativa das concepções dos estudantes, foram utilizados dois instrumentos:

Análise de redes de palavras-chave, construída a partir das respostas dos estudantes em testes inicial e final sobre espectroscopia e Arduino.

Análise dos vlogs, considerando engajamento, argumentação e compreensão conceitual.

O objetivo principal da metodologia foi avaliar se a abordagem investigativa mediada por tecnologias acessíveis favoreceria a compreensão dos conceitos de espectroscopia e a habilidade dos estudantes em interpretar evidências experimentais.

Figura 1 – (a) Os componentes de um espectrofotômetro da esquerda para a direita: fonte de luz, colimador, prisma ou grade de difração, fenda, cubeta/amostra, sensor e computador. (b) Vista superior do espectrofotômetro. (c) Vista superior do espectrofotômetro em funcionamento com luz branca.



Fonte: Elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados mostraram avanços significativos nas concepções dos estudantes após a sequência didática. A análise das redes de palavras revelou que, no teste inicial, muitos alunos associaram equivocadamente o termo Arduino a “jogos”, “celular” ou “programas de internet”, conforme pode-se ver na Figura 2a. Termos associados à espectroscopia eram escassos ou desconectados do fenômeno físico. Esses resultados corroboram estudos que apontam dificuldades na compreensão de conceitos de FMC quando estes são trabalhados de forma abstrata ou desvinculados de atividades experimentais (CHRISTIAN; ESQUEMBRE; BARBATO, 2011; POST-ZWICKER et al., 1999).

Após as atividades investigativas, as redes do teste final evidenciaram um deslocamento conceitual importante. Palavras como “robótica”, “programação”, “protótipo”, “absorção da luz” e “espectro” passaram a aparecer com maior frequência e interconexão. Esse resultado está alinhado com pesquisas que defendem o uso de atividades experimentais e metodologias ativas para favorecer a compreensão de fenômenos ópticos (Buongiorno; Michelini, 2019; Carpentieri et al., 2023).

As interações em sala — registradas no caderno de campo do professor e nos vlogs — mostraram que os estudantes se envolveram com a investigação, especialmente durante o uso do espectrofotômetro de Arduino. A possibilidade de manipular o experimento, observar variações na transmitância e relacioná-las com a qualidade da água fortaleceu a compreensão do papel dos espectrofotômetros e dos processos de absorção e transmissão, como já indicado por Garabet et al. (2012).

O estudo também revelou um aumento do interesse e participação dos alunos, o que pode estar relacionado à combinação entre tecnologias acessíveis, fenômenos visuais e contexto ambiental significativo. Esse achado dialoga com Hansson et al. (2019), que defendem que tópicos de FMC, quando contextualizados e trabalhados de forma investigativa, ampliam engajamento e motivação.

Em síntese, os resultados demonstram que a abordagem investigativa mediada por um dispositivo de baixo custo permitiu aos estudantes construir explicações mais consistentes sobre espectroscopia. As evidências indicam não apenas ganho conceitual, mas também desenvolvimento de competências científicas como observação, registro e análise de dados — exatamente como previsto pela SEI (Carvalho, 2013).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A experiência relatada demonstrou que a integração entre Ensino por Investigação e tecnologias acessíveis, como o espectrofotômetro baseado em Arduino, pode contribuir de forma significativa para a aprendizagem de conceitos de espectroscopia no Ensino Médio. A sequência didática

favoreceu mudanças nas concepções dos estudantes, ampliou o engajamento e permitiu a construção de explicações mais próximas das ideias científicas.

Além disso, o estudo evidencia que é possível trabalhar conteúdos da Física Moderna e Contemporânea mesmo em escolas com infraestrutura limitada, desde que se utilizem estratégias que valorizem a experimentação, a autonomia investigativa e a contextualização.

Como implicação pedagógica, o trabalho reforça a importância de práticas que aproximem os estudantes do fazer científico e ampliem seu repertório de análise crítica, especialmente em temas relacionados à luz, tecnologia e meio ambiente. Para pesquisas futuras, sugerem-se novos estudos comparando esta abordagem com outras metodologias ativas e explorando diferentes temas da FMC por meio de dispositivos de baixo custo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPES # 2025-3FRZ5 pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIYANI, L.; BUDI, E.; ASTRA, I. M. **Developing of modified inquiry-based laboratory worksheet on optical topic**. Journal of Physics: Conference Series, [S. l.], v. 1185, p. 012040, 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1185/1/012040.

BRASIL. PCNEM. Governamental. 2000. Disponível em: <https://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>. Acesso em: 14 dez. 2025.

BRASIL. PCN+. , 2002. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br/conaes-comissao-nacional-de-avaliacao-da-educacao-superior/195-secretarias-112877938/seb-educacao-basica-2007048997/12598-publicacoes-sp-265002211>. Acesso em: 14 dez. 2025.

BUONGIORNO, Daniele; MICHELINI, Marisa. **Research-Based Proposals on Optical Spectroscopy and Secondary Students' Learning Outcomes**. Journal of Physics: Conference Series, [S. l.], v. 1287, n. 1, p. 012004, 2019. DOI: 10.1088/1742-6596/1287/1/012004.

BUONGIORNO, Daniele; MICHELINI, Marisa. **Research-Based Path Proposal on Optical Spectroscopy in Secondary School**. Em: SIDHARTH, Burra G.; MURILLO, Jesús Carnicer; MICHELINI, Marisa; PEREA, Carmen (org.). Fundamental Physics and Physics Education Research. Cham: Springer International Publishing, 2021. p. 239–250. DOI: 10.1007/978-3-030-52923-9_19. Disponível em: http://link.springer.com/10.1007/978-3-030-52923-9_19. Acesso em: 14 dez. 2025.

CARPENTIERI, Maria Antonietta; FANO, Gioia; JURINOVICH, Sandro; DOMENICI, Valentina. **Introduction to Light Properties and Basic Principles of Spectroscopy at the High-School Level: A Pilot Study**. Education Sciences, [S. l.], v. 13, n. 3, p. 316, 2023. DOI: 10.3390/educsci13030316.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa De. **Ensino de ciências por investigação: condições para implementação em sala de aula**. São Paulo: Cengage Learning, 2013. . Acesso em: 5 ago. 2025.

CHRISTIAN, Wolfgang; ESQUEMBRE, Francisco; BARBATO, Lyle. Open Source Physics. Science, [S. l.], v. 334, n. 6059, p. 1077–1078, 2011. DOI: 10.1126/science.1196984.

GONÇALVES, Karen Magno; CABRAL NETO, João dos Santos. **Uma análise das práticas para o ensino de Física Moderna e Contemporânea em cursos de Licenciatura em Física**. Revista de Enseñanza de la Física, [S. l.], v. 36, n. 1, p. 37–51, 2024. DOI: 10.55767/2451.6007.v36.n1.45310.

HANSSON, Lena; LEDEN, Lotta; PENDRILL, Ann-Marie. **Contemporary science as context for teaching nature of science: teachers' development of popular science articles as a teaching resource**. Physics Education, [S. l.], v. 54, n. 5, p. 055008, 2019. DOI: 10.1088/1361-6552/ab194e.

JIMÉNEZ SALAZAR, Jorge Andrés; RIVERA MANRIQUE, Solange Ivette. **Propuesta de diseño para la construcción de un espectrofotómetro UV-VIS a base arduino y fibra óptica**. JÓVENES EN LA CIENCIA, [S. l.], v. 28, p. 1–16, 2024. DOI: 10.15174/jc.2024.4521.

KELLY, Gleyce; ROCHA, Dicleyson; GERMANO, Renato. **Espectroscopia para o ensino médio utilizando a placa Arduino**. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, [S. l.], v. 10, n. 2, 2017. DOI: 10.3895/rbect.v10n2.3997. Disponível em: <https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/3997>. Acesso em: 14 dez. 2025.

LDB. Governamental. 1996. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9394compilado.htm. Acesso em: 9 dez. 2025.

LEE, Virginia S. **What is inquiry-guided learning? New Directions for Teaching and Learning**, [S. l.], v. 2012, n. 129, p. 5–14, 2012. DOI: 10.1002/tl.20002.

MICHELINI, Marisa; SANTI, Lorenzo; STEFANEL, Alberto. **Teaching modern physics in secondary school**. Em: PROCEEDINGS OF FRONTIERS OF FUNDAMENTAL PHYSICS 14 — POS(FFP14) 2016, Aix Marseille University (AMU) Saint-Charles Campus, Marseille, France. Anais [...]. Em: FRONTIERS OF FUNDAMENTAL PHYSICS 14. Aix Marseille University (AMU) Saint-Charles Campus, Marseille, France: Sissa Medialab, 2016. p. 231. DOI: 10.22323/1.224.0231. Disponível em: <https://pos.sissa.it/224/231>. Acesso em: 14 dez. 2025.

MIHAELA GARABET; CRISTINA MIRON; IOAN NEACȘU. **New educational perspectives on spectroscopy in the romanian high school** | Semantic Scholar. [s.d.]. Disponível em: <https://www.semanticscholar.org/paper/NEW-EDUCATIONAL-PERSPECTIVES-ON-SPECTROSCOPY-IN-THE-Garabet-Miron/c2da0289aab9727793a16891245a6bcbade54756#citing-papers>. Acesso em: 14 dez. 2025.

PERES, Marcus Vinicius; CONCEIÇÃO, Sam Adam Hoffmann; DOS SANTOS, Talita Vicente; LENZ, Jorge Alberto; SAAVEDRA FILHO, Nestor Cortez; BEZERRA JR, Arandi Ginane. **Articulated Video Production Between Teachers and Training Teachers as a Proposal for the Teaching of Modern and Contemporary Physics**. Acta Scientiae, [S. l.], v. 22, n. 6, 2020. DOI: 10.17648/acta.scientiae.6051. Disponível em: <http://www.periodicos.ulbra.br/index.php/acta/article/view/6051>. Acesso em: 14 dez. 2025.

POST-ZWICKER, A. P.; DAVIS, W.; GRIP, R.; MCKAY, M.; PFAFF, R.; STOTLER, D. P. **Teaching Contemporary Physics Topics Using Real-Time Data Obtained via the World Wide Web**. Journal of Science Education and Technology, [S. l.], v. 8, n. 4, p. 273–281, 1999. DOI: 10.1023/A:1009488526592.

THIARA, Ana Caroline; BATISTA, Lincon; OLIVEIRA, Daniel; SIQUEIRA, Maxwell. **Transposição didática: A Radiação do corpo negro nos livros didáticos do PNLD 2018**. Latin-American Journal of Physics Education, ISSN-e 1870-9095, Vol. 16, Nº. 1, 2022, [S. l.], n. 1, 2022. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8444860>. Acesso em: 14 dez. 2025.

VELOSO, Jardel de Carvalho; SOUSA, Maura Vieira do Santos; MACÊDO, Haroldo Reis Alves De. Sobre o ensino de física moderna e contemporânea no ensino médio: uma breve revisão bibliográfica. EDUCA - Revista Multidisciplinar em Educação, [S. l.], v. 9, p. 1–27, 2022. DOI: 10.26568/2359-2087.2022.6151.