

**CONSTRUÇÃO DE
EXPERIMENTOS DIDÁTICOS
DE BAIXO CUSTO PARA O
ENSINO DE ÓPTICA:
INTEGRAÇÃO ENTRE
IMPRESSÃO 3D, ROBÓTICA
EDUCACIONAL E
APRENDIZAGEM
SIGNIFICATIVA**

**CONSTRUCTION OF LOW-COST DIDACTIC EXPERIMENTS FOR TEACHING
OPTICS: INTEGRATION OF 3D PRINTING, EDUCATIONAL ROBOTICS AND
MEANINGFUL LEARNING**

Ciências Exatas e da Terra • 02/09/2026

REGISTRO DOI: [10.70773/revistatopicos/788222202](https://doi.org/10.70773/revistatopicos/788222202)

Daniely Rodrigues Saraiva Castro¹

Jânio Wesley Santos Coelho²

João Alberto Santos Porto³

RESUMO

O artigo apresenta o desenvolvimento de experimentos didáticos de baixo custo como recurso para o ensino de Óptica no Ensino Médio, articulando experimentação investigativa, aprendizagem significativa, impressão 3D e elementos de robótica educacional. O estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa e caráter descritivo, desenvolvida a partir de revisão bibliográfica e da construção de protótipos experimentais acompanhados de roteiros didáticos. Foram elaboradas seis propostas envolvendo reflexão, transmissão e absorção da luz; visualização de ondas sonoras por meio de reflexão de laser; reflexão regular e difusa; espelhos esféricos; filtros de cores e mistura RGB; e polarização da luz. A análise pedagógica considerou a possibilidade de visualização de fenômenos, o uso de materiais acessíveis, a modularidade das montagens, a integração com tecnologias educacionais e a inserção das atividades em sequências investigativas. Os resultados do desenvolvimento indicam que os recursos produzidos apresentam potencial para aproximar conceitos abstratos da experiência concreta, favorecer a problematização e ampliar as possibilidades de práticas experimentais em escolas com infraestrutura limitada. Conclui-se que a integração entre experimentação, impressão 3D e recursos tecnológicos constitui uma alternativa didática promissora para o ensino de Óptica, embora a efetividade sobre a aprendizagem discente ainda deva ser verificada por aplicações sistemáticas em contexto escolar.

Palavras-chave: Ensino de Óptica; Experimentos didáticos; Impressão 3D; Robótica educacional; Aprendizagem significativa.

ABSTRACT

The article presents the development of low-cost didactic experiments as a resource for teaching Optics in high school,

combining inquiry-based experimentation, meaningful learning, 3D printing and elements of educational robotics. The study is characterized as applied research with a qualitative and descriptive approach, based on a literature review and the construction of experimental prototypes accompanied by didactic guides. Six proposals were developed involving reflection, transmission and absorption of light; visualization of sound waves through laser reflection; regular and diffuse reflection; spherical mirrors; color filters and RGB mixing; and light polarization. The pedagogical analysis considered the visualization of phenomena, the use of accessible materials, the modularity of the setups, the integration of educational technologies and the insertion of activities into inquiry-based sequences. The development results indicate that the resources produced have the potential to connect abstract concepts with concrete experience, encourage problematization and expand experimental practices in schools with limited infrastructure. It is concluded that the integration of experimentation, 3D printing and technological resources is a promising didactic alternative for teaching Optics, although its effects on student learning still need to be verified through systematic applications in school settings.

Keywords: Optics Education; Didactic Experiments; 3D Printing; Educational Robotics; Meaningful Learning.

1. INTRODUÇÃO

O ensino de Física desempenha papel relevante na formação científica dos estudantes por possibilitar a interpretação de fenômenos naturais e de tecnologias presentes no cotidiano. Entretanto, conteúdos que envolvem modelos abstratos, representação matemática e fenômenos que não são diretamente perceptíveis podem gerar dificuldades de aprendizagem e reduzir o

envolvimento dos estudantes. No caso da Óptica, essa situação é particularmente relevante, pois conceitos como reflexão, refração, difração, interferência e polarização exigem a articulação entre modelos geométricos, ondulatórios e observações experimentais (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Hewitt, 2015).

A experimentação constitui uma possibilidade de aproximação entre o conhecimento formal e a experiência dos estudantes. Quando organizada de maneira investigativa, a atividade experimental pode estimular observação, formulação de hipóteses, interpretação de evidências e argumentação, superando a função de simples demonstração de um resultado previamente conhecido (Araújo; Abib, 2003; Borges, 2002; Sasseron, 2015). A Base Nacional Comum Curricular também valoriza práticas que favoreçam investigação, análise de evidências e resolução de problemas no ensino de Ciências da Natureza (Brasil, 2018).

No entanto, a realização de atividades experimentais nas escolas enfrenta limitações relacionadas à infraestrutura, à disponibilidade de equipamentos, à formação docente e ao tempo destinado às aulas práticas. Estudos sobre laboratórios escolares apontam dificuldades estruturais que podem restringir a frequência de experimentos, especialmente em instituições com poucos recursos (Berezuki; Obara, 2010). Nesse cenário, o uso de materiais acessíveis e a construção de dispositivos didáticos podem ampliar as possibilidades de inserção da experimentação no cotidiano escolar (Cavalcante; Tavoraro, 2001).

A proposta também encontra fundamentação na Teoria da Aprendizagem Significativa, segundo a qual novos conhecimentos são assimilados de modo mais consistente quando estabelecem

relações não arbitrárias com conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva do estudante (Ausubel, 1968; Moreira, 2011). Em Óptica, situações cotidianas relacionadas a espelhos, cores, sombras, lentes e fenômenos luminosos podem funcionar como pontos de partida para a construção de conceitos científicos, desde que acompanhadas por mediação pedagógica e reflexão.

Diante desse contexto, o problema que orienta o estudo consiste em investigar como a construção de experimentos didáticos de baixo custo, associada à impressão 3D e a recursos de robótica educacional, pode constituir uma alternativa para o ensino de Óptica em escolas com limitações de infraestrutura. O objetivo é desenvolver e organizar um conjunto de experimentos e roteiros didáticos que favoreçam a visualização dos fenômenos ópticos, a integração entre teoria e prática e a realização de atividades de caráter investigativo. A relevância da proposta está na possibilidade de disponibilizar ao professor recursos reproduzíveis, modulares e contextualizados para o trabalho com conteúdos de Óptica no Ensino Médio.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Aprendizagem Significativa e Experimentação no Ensino de Física

Na proposta analisada, essa preocupação aparece nos roteiros que acompanham os protótipos. Além de indicar materiais e procedimentos, os roteiros apresentam questões de discussão e orientações para interpretação. Isso permite que diferentes professores adaptem as atividades às características de suas turmas, ao tempo disponível e aos conhecimentos já trabalhados.

Essa compreensão ajuda a evitar a ideia de que todo experimento produz automaticamente uma aprendizagem melhor. A atividade precisa fazer parte de uma intencionalidade pedagógica. Antes da montagem, o professor pode levantar conhecimentos prévios; durante a atividade, solicitar previsões e registros; depois, retomar as observações para confrontá-las com os modelos físicos. Assim, a prática experimental deixa de ser um momento separado da aula e passa a integrar o próprio processo de construção do conhecimento.

Em uma aula de Física, a diferença entre apresentar uma definição e criar uma situação em que o estudante possa perceber o fenômeno é significativa. Quando o aluno observa um feixe de luz mudar de direção, percebe o desaparecimento gradual de uma imagem ao cruzar polarizadores ou acompanha a convergência dos raios em um espelho côncavo, o conceito deixa de ser apenas uma informação escrita no quadro. Ele passa a ter uma referência concreta à qual pode retornar durante a explicação. É nessa aproximação entre experiência e elaboração conceitual que a experimentação pode assumir um papel formativo mais amplo.

Ausubel (1968) compreende a aprendizagem significativa como um processo no qual novos conhecimentos se relacionam de maneira substantiva e não arbitrária com conhecimentos relevantes já existentes na estrutura cognitiva do estudante. Esses conhecimentos prévios, denominados subsunçores, funcionam como elementos de ancoragem para a assimilação de novos conceitos. Moreira (2011) destaca que essa perspectiva desloca o foco da simples retenção de informações para a construção de relações conceituais capazes de atribuir significado ao que é aprendido.

No ensino de Física, a experimentação pode contribuir para essa articulação ao colocar o estudante diante de situações concretas que demandam observação, interpretação e explicação. Borges (2002) ressalta, entretanto, que o laboratório escolar não deve ser reduzido à execução mecânica de instruções. A atividade precisa ser acompanhada de problematização, discussão e reflexão conceitual. Essa compreensão aproxima a experimentação das propostas investigativas, nas quais o estudante participa ativamente da produção e da avaliação de explicações (Hodson, 1994; Séré, 2002).

Araújo e Abib (2003) mostram que as atividades experimentais podem assumir diferentes enfoques e finalidades no ensino de Física. A contribuição pedagógica depende, portanto, da maneira como o experimento é inserido na sequência didática. Em vez de apenas confirmar uma lei, o recurso pode desencadear perguntas, favorecer previsões, permitir a comparação entre situações e apoiar a construção de argumentos. Essa perspectiva é compatível com o ensino por investigação defendido por Carvalho (2018) e com a alfabetização científica discutida por Sasseron (2015).

2.2. Experimentos de Baixo Custo, Óptica e Tecnologias Educacionais

A impressão 3D também introduz uma dimensão de autoria. Uma peça que inicialmente seria apenas um suporte pode ser redesenhada conforme a necessidade do experimento. O estudante pode modificar dimensões, testar encaixes e pensar em soluções para melhorar a estabilidade da montagem. A tecnologia, portanto, deixa de ser apenas meio de fabricação e pode transformar-se em linguagem de aprendizagem, aproximando Física, tecnologia e resolução de problemas.

No conjunto desenvolvido, essa lógica aparece em objetos presentes no cotidiano, como celular, lanterna, espelhos, papel, filtros e peças de MDF, combinados com componentes produzidos por impressão 3D. O resultado é um sistema híbrido: parte do experimento é construída com materiais comuns e parte é produzida sob medida. Essa combinação torna a proposta interessante para escolas que desejam ampliar suas atividades práticas sem depender exclusivamente de equipamentos laboratoriais comerciais.

Outro ponto que merece destaque é a relação entre baixo custo e qualidade pedagógica. Utilizar materiais acessíveis não significa produzir atividades conceitualmente pobres. Uma montagem pode ser economicamente simples e, ao mesmo tempo, criar boas oportunidades para observar, medir, comparar e discutir fenômenos. O desafio está em selecionar materiais que desempenhem uma função didática clara e possam ser manipulados com segurança.

A Óptica apresenta amplo potencial para a elaboração de atividades experimentais porque seus fenômenos podem ser relacionados a situações cotidianas e a dispositivos tecnológicos. Espelhos, lentes, filtros, lasers, câmeras e fibras ópticas permitem explorar diferentes manifestações da interação da luz com a matéria e tornam visíveis aspectos que, em uma abordagem exclusivamente expositiva, podem permanecer abstratos (Halliday; Resnick; Walker, 2016; Nussenzveig, 2014).

A utilização de materiais alternativos constitui uma estratégia para enfrentar restrições de infraestrutura. Cavalcante e Tavolaro (2001) destacam a viabilidade de experimentos construídos com materiais de baixo custo, enquanto Rosa e Rosa (2012) apontam a necessidade de ampliar práticas experimentais no ensino de Física. Assim, a

construção de recursos pelo próprio professor ou por grupos de estudantes pode ser compreendida não apenas como solução econômica, mas como oportunidade de desenvolver criatividade, planejamento e resolução de problemas.

A incorporação de tecnologias de fabricação digital amplia esse potencial. A impressão 3D permite produzir suportes, bases e adaptadores com dimensões e formatos definidos para cada atividade, favorecendo a padronização e a reutilização dos protótipos. Quando associada a elementos de robótica e automação, a fabricação digital também aproxima o ensino de Física de práticas tecnológicas contemporâneas, sem abandonar a centralidade dos conceitos físicos.

3. METODOLOGIA

Como a pesquisa não envolveu uma intervenção pedagógica controlada com estudantes, a análise dos resultados foi realizada a partir das características dos recursos produzidos e de sua coerência com os princípios teóricos adotados. Portanto, expressões como potencial, possibilidade e contribuição são utilizadas de forma intencional: indicam uma expectativa pedagógica fundamentada no desenho das atividades, e não uma comprovação experimental de ganhos de aprendizagem.

Os roteiros foram escritos de maneira a permitir que o professor tenha, em um mesmo material, as informações necessárias para preparar e conduzir a atividade. Essa organização inclui objetivos, contextualização, fundamentação, materiais, montagem, procedimentos, observações esperadas e questões para discussão. O

propósito foi reduzir a distância entre a construção do equipamento e sua efetiva utilização em sala de aula.

Na elaboração dos protótipos, buscou-se equilíbrio entre simplicidade e funcionalidade. Os suportes impressos em 3D foram utilizados principalmente quando a geometria, o alinhamento ou a possibilidade de rotação dos componentes exigiam maior estabilidade. Isso foi especialmente importante nos experimentos de filtros de cores e polarização, nos quais a posição dos elementos interfere diretamente na observação do fenômeno.

Do ponto de vista do processo de construção, a pesquisa foi desenvolvida de forma gradual. A revisão bibliográfica não foi tratada apenas como etapa inicial de levantamento de referências, mas como base para definir quais fenômenos seriam mais adequados às condições de uma proposta experimental escolar. Foram considerados a relevância dos conceitos para o Ensino Médio, a possibilidade de observação direta, a segurança, o custo dos materiais e a facilidade de reprodução das montagens.

O estudo caracteriza-se como uma pesquisa de natureza aplicada, abordagem qualitativa e caráter descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica e no desenvolvimento de recursos didáticos experimentais. O trabalho não realizou aplicação sistemática dos protótipos com uma amostra de estudantes nem utilizou instrumentos estatísticos de aprendizagem; portanto, os resultados discutidos correspondem ao desenvolvimento dos recursos e à análise qualitativa de suas potencialidades pedagógicas. Essa delimitação é importante para evitar a atribuição de efeitos de aprendizagem que ainda não foram empiricamente mensurados.

O desenvolvimento foi organizado em cinco etapas interdependentes. Na primeira, realizou-se levantamento bibliográfico sobre aprendizagem significativa, experimentação no ensino de Ciências, metodologias investigativas e ensino de Óptica. Na segunda, foram selecionados os fenômenos e planejadas as atividades considerando relevância pedagógica, baixo custo, segurança, viabilidade de construção e possibilidade de investigação.

Na terceira etapa, foram desenvolvidos os protótipos utilizando materiais alternativos, componentes ópticos e recursos tecnológicos. O TCC registra o emprego de modelagem tridimensional em CAD no Tinkercad e a fabricação de peças em impressoras Anet A8, Ender 3 V2 e Ender 3 V3, além da incorporação de princípios de robótica educacional e automação em algumas montagens. Na quarta etapa, foram elaborados roteiros padronizados com objetivos, fundamentação teórica, materiais, montagem, procedimentos, comentários, esquemas e questões para discussão.

Na quinta etapa, os experimentos, roteiros e fundamentos teóricos foram organizados em um material didático integrado. A análise considerou principalmente a capacidade de tornar os fenômenos observáveis, a acessibilidade dos materiais, a modularidade das montagens, a possibilidade de reutilização e a adequação a sequências didáticas investigativas.

Tabela 1. Síntese dos experimentos didáticos desenvolvidos.

Experimento	Fenômeno/con teúdo	Recursos principais	Possibilidade didática
-------------	-----------------------	------------------------	---------------------------

1. Reflexão, transmissão e absorção	Interação da luz com vidros	Vela, vidros transparente e fumê, base e suportes	Comparar transmissão, reflexão e absorção
2. Visualização de ondas sonoras	Vibração, reflexão e representação de ondas	Laser, espelho, membrana e fonte sonora	Tornar vibrações sonoras visualmente perceptíveis
3. Reflexão regular e difusa	Lei da reflexão	Laser de três feixes, espelho, superfície fosca	Comparar superfícies lisas e rugosas
4. Espelhos côncavo e convexo	Convergência e divergência	Laser de três feixes e espelhos esféricos	Visualizar foco real e foco virtual
5. Filtros e mistura RGB	Cores, transmissão seletiva e síntese aditiva	Lanterna, filtros, suportes 3D e simulador RGB	Relacionar óptica, visão e tecnologias digitais
6. Polarização	Polarização e Lei de Malus	Tela LCD, polarizadores, lanterna e suportes 3D	Relacionar ângulo, intensidade e aplicações tecnológicas

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização dos Recursos Desenvolvidos

Os dois últimos roteiros aproximam ainda mais a Física do cotidiano tecnológico. A atividade com filtros e mistura RGB relaciona a formação das cores a telas e sistemas digitais, enquanto a polarização utiliza a tela de um celular como elemento da própria montagem. A escolha desses objetos é pedagogicamente interessante porque muitos estudantes já possuem familiaridade

com eles, mas nem sempre percebem os princípios físicos envolvidos em seu funcionamento.

Os roteiros seguintes aprofundam conteúdos de Óptica Geométrica. A reflexão regular e difusa possibilita discutir a Lei da Reflexão e a influência da rugosidade das superfícies. Já os espelhos côncavos e convexos permitem relacionar a geometria da superfície ao comportamento convergente ou divergente da luz. Essa sequência favorece uma progressão conceitual em que o estudante parte de um comportamento simples dos raios e chega a situações de formação de imagens e aplicações tecnológicas.

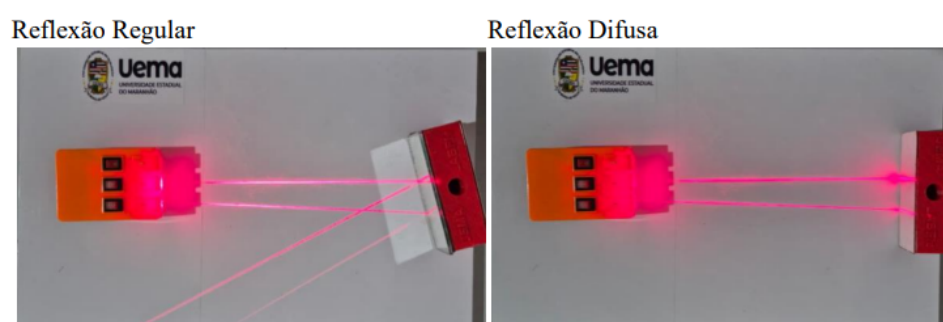
O primeiro roteiro, dedicado à reflexão, transmissão e absorção, oferece uma porta de entrada acessível para discutir a interação da luz com a matéria. A comparação entre vidros com diferentes propriedades ópticas permite iniciar a discussão a partir de uma observação simples e avançar para conceitos mais elaborados. O segundo roteiro amplia essa perspectiva ao utilizar um feixe laser refletido por uma membrana vibrante para tornar visualmente perceptíveis vibrações associadas ao som.

Um aspecto que torna o conjunto particularmente significativo é a diversidade dos fenômenos abordados. Em vez de concentrar todas as atividades em um único tópico, os roteiros percorrem diferentes possibilidades de exploração da luz e de sua relação com outros fenômenos. Essa diversidade permite ao professor selecionar atividades conforme o momento da sequência didática e favorece conexões entre conteúdos que muitas vezes aparecem separados nos livros didáticos.

O principal produto do trabalho é um conjunto de seis roteiros experimentais articulados ao ensino de Óptica e, em um dos casos, à visualização de fenômenos sonoros por meio de recursos ópticos. Os roteiros abrangem desde fenômenos geométricos, como reflexão e formação de imagens, até conteúdos de natureza ondulatória, como polarização e representação de vibrações. A organização dos materiais evidencia uma preocupação em associar cada montagem a objetivos, fundamentação conceitual, procedimentos e questões de discussão, transformando o experimento em parte de uma sequência didática e não em uma atividade isolada.

Os experimentos de reflexão regular e difusa e de espelhos esféricos apresentam particular potencial para tornar visíveis os caminhos dos raios luminosos. Na montagem de reflexão regular e difusa, o emissor de três feixes permite observar a manutenção do paralelismo após a reflexão em uma superfície lisa e o espalhamento em uma superfície rugosa. A Figura 1 registra a comparação produzida no protótipo e materializa a distinção entre os dois comportamentos.

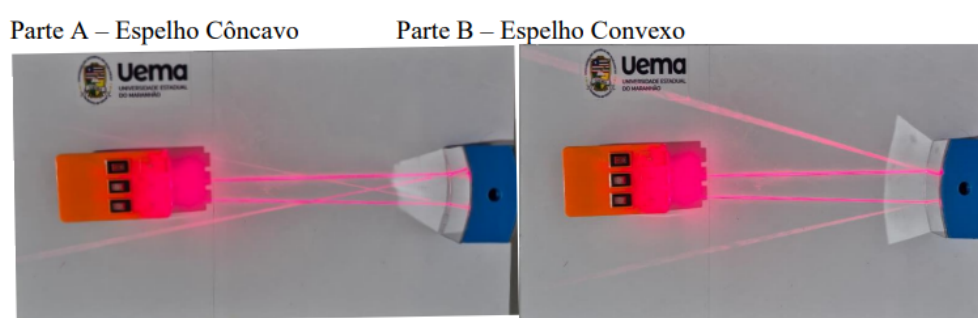
Figura 1. Montagem para observação da reflexão regular e difusa da luz.



No experimento com espelhos esféricos, os feixes paralelos convergem diante do espelho côncavo e divergem após a reflexão no espelho convexo. A Figura 2 mostra uma das montagens registradas no TCC. A visualização direta do comportamento dos

feixes favorece a relação entre geometria da superfície refletora, foco e aplicações tecnológicas, como lanternas, telescópios, retrovisores e espelhos de segurança. Esse tipo de representação concreta é coerente com a defesa da experimentação como estratégia para aproximar modelos físicos de situações observáveis (Halliday; Resnick; Walker, 2016).

Figura 2. Protótipo para observação da convergência dos feixes em espelho côncavo.



4.2. Integração Entre Impressão 3D, Simulação e Experimentação

A simulação computacional presente no roteiro de cores acrescenta outra camada à proposta. O estudante pode comparar aquilo que observa no experimento físico com aquilo que produz no ambiente digital. Essa comparação evidencia que diferentes representações podem descrever aspectos complementares de um mesmo fenômeno e favorece discussões sobre modelos, representações e limites de cada forma de observação.

Essa possibilidade é especialmente relevante na formação de professores de Física. Ao construir materiais didáticos, o licenciando não apenas aprende o conteúdo físico, mas precisa pensar na transposição desse conteúdo para uma situação de ensino. Precisa antecipar dificuldades, prever erros de montagem, avaliar a segurança e escolher quais aspectos devem ser destacados durante

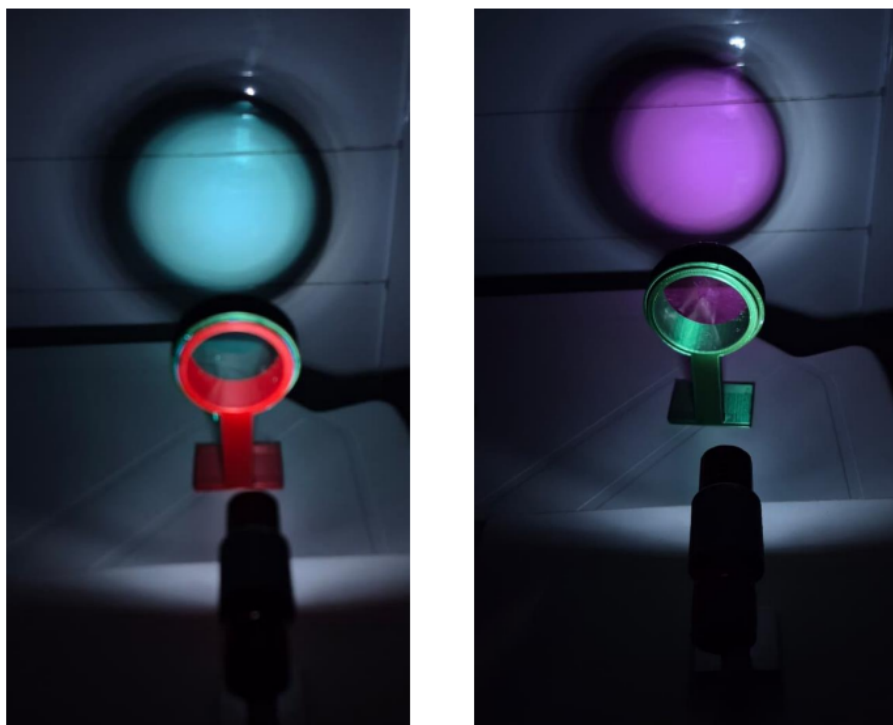
a aula. A fabricação do recurso pode funcionar, portanto, como etapa de formação pedagógica e tecnológica.

A integração entre fabricação digital e experimentação modifica também a forma como os estudantes podem participar da construção do conhecimento. Em uma prática tradicional, o equipamento chega pronto e o aluno aprende a utilizá-lo. Em uma proposta como esta, existe a possibilidade de discutir como o equipamento foi pensado, por que determinada peça possui aquele formato e como uma alteração no suporte poderia modificar a experiência.

A fabricação digital aparece como elemento estruturante da proposta, e não apenas como recurso ornamental. Suportes, bases e adaptadores foram modelados em CAD e produzidos em impressoras 3D, permitindo ajustar os componentes às necessidades de cada montagem. Essa estratégia favorece a modularidade e a reutilização dos experimentos e reduz a dependência de peças comerciais específicas. No caso dos polarizadores e filtros de cores, por exemplo, os suportes impressos permitem fixação e rotação controlada dos componentes.

O experimento de filtros de cores amplia a integração entre recursos físicos e digitais. O roteiro combina a projeção de luz por filtros com uma simulação computacional da mistura RGB, possibilitando comparar a mistura subtrativa produzida pelos filtros com a mistura aditiva das luzes vermelha, verde e azul. As fotografias da Figura 3 mostram os protótipos utilizados para a exploração de filtros coloridos. Essa combinação entre objeto físico e representação computacional favorece diferentes formas de visualização e pode ampliar as oportunidades de discussão conceitual.

Figura 3. Protótipos para demonstração da transmissão seletiva da luz por filtros coloridos.



4.3. Potencial Pedagógico e Articulação com a Aprendizagem Significativa

Também é possível perceber uma contribuição para a autonomia dos estudantes. Quando o roteiro não é utilizado como receita rígida, mas como orientação para investigação, o aluno pode comparar resultados, discutir possíveis causas para diferenças e propor modificações. Esse tipo de participação contribui para o desenvolvimento de atitudes relacionadas ao trabalho científico, como curiosidade, persistência, argumentação e disposição para revisar explicações.

Essa dimensão dialogada é coerente com a perspectiva de que ensinar Física não consiste apenas em apresentar leis e equações, mas em ajudar o estudante a construir maneiras científicas de observar e explicar o mundo. O experimento oferece evidências; a discussão organiza essas evidências; e a teoria fornece uma

linguagem para interpretá-las. A articulação desses três momentos pode tornar a aprendizagem mais próxima de uma experiência intelectual significativa.

Há ainda um aspecto humano na experiência experimental que merece ser valorizado: o estudante passa a ter algo para observar e sobre o qual conversar com os colegas. Em uma aula exclusivamente expositiva, a interação pode ficar restrita à pergunta e à resposta. Em uma atividade prática, surgem dúvidas a partir do próprio fenômeno: por que o feixe mudou de direção? Por que a luz quase desapareceu? Por que o espelho convexo espalha os raios? Essas perguntas podem se transformar em oportunidades de aprendizagem quando o professor as acolhe e as relaciona aos conceitos científicos.

A análise dos roteiros evidencia que os experimentos foram concebidos para partir de situações observáveis e conduzir os estudantes à interpretação física dos fenômenos. As questões propostas nos roteiros solicitam comparações, justificativas, previsões e relações com situações cotidianas. Essa estrutura é compatível com a aprendizagem significativa, pois possibilita que conhecimentos prévios sobre espelhos, cores, telas, som e luz sejam mobilizados na construção de explicações mais sistematizadas (Ausubel, 1968; Moreira, 2011).

A proposta também se aproxima do ensino por investigação ao prever etapas de observação, registro, comparação e discussão. Em vez de apresentar somente o resultado final, os roteiros oferecem condições para que o professor transforme o comportamento observado em problema de investigação. Essa característica responde à crítica ao experimentalismo acrítico, segundo a qual a

execução de procedimentos sem reflexão conceitual pode reduzir a contribuição formativa do laboratório (Hodson, 1994; Séré, 2002).

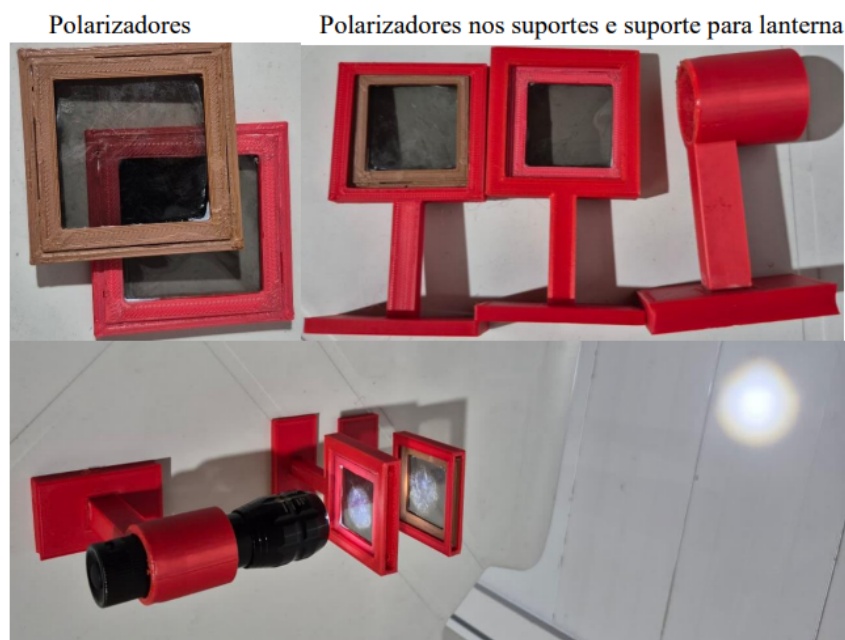
Outro aspecto relevante é a acessibilidade econômica. Os protótipos utilizam materiais como MDF, papel, filtros, lanternas, espelhos, celulares, componentes eletrônicos e peças impressas em 3D. A estratégia não elimina a necessidade de planejamento ou de formação docente, mas amplia as possibilidades de realização de atividades práticas em espaços que não dispõem de laboratórios completos. Nesse sentido, os resultados do desenvolvimento convergem com a literatura que reconhece o valor pedagógico de materiais de baixo custo (Cavalcante; Tavolaro, 2001; Rosa; Rosa, 2012).

4.4. Polarização da Luz Como Exemplo de Integração Entre Cotidiano e Formalização

O experimento de polarização utiliza uma tela de celular como fonte de luz e dois filtros polarizadores montados em suportes impressos em 3D. A atividade propõe a rotação relativa dos polarizadores e o registro qualitativo da intensidade luminosa, com máximos próximos de 0° e 180° e mínimo próximo de 90° . A Figura 4 apresenta os suportes construídos para a atividade.

A montagem permite discutir a polarização da luz, a orientação dos eixos de transmissão e a Lei de Malus, além de estabelecer relações com telas LCD, óculos polarizados, fotografia, microscopia e comunicações ópticas. O uso de um dispositivo cotidiano, como o celular, reduz a distância entre o conteúdo escolar e a experiência do estudante, reforçando a contextualização defendida na proposta do TCC.

Figura 4. Suportes impressos em 3D utilizados na atividade de polarização da luz.



4.5. Limitações e Possibilidades de Continuidade

Também seria relevante investigar a percepção dos próprios professores sobre o material. Aspectos como tempo de preparação, custo, facilidade de montagem, durabilidade, segurança e adequação ao currículo podem determinar se um recurso desenvolvido em uma pesquisa acadêmica será realmente incorporado à prática escolar. Dessa forma, a continuidade do estudo pode avançar da construção dos equipamentos para a validação pedagógica e para a formação docente.

Outra limitação está relacionada à avaliação da aprendizagem. O desenvolvimento dos protótipos demonstra viabilidade técnica e potencial didático, mas não substitui uma investigação com estudantes. Uma etapa posterior poderá utilizar pré-teste e pós-teste, questões conceituais, entrevistas, mapas conceituais, registros das discussões e observações do professor. Esses dados permitirão verificar de forma mais objetiva quais conceitos são efetivamente apropriados e quais dificuldades permanecem.

É importante reconhecer que toda proposta experimental depende das condições concretas em que será utilizada. Um mesmo experimento pode funcionar muito bem em uma sala escurecida e apresentar dificuldades em um ambiente excessivamente iluminado; uma montagem simples para uma turma pode exigir mais mediação em outra; e a disponibilidade de impressora 3D pode variar entre instituições. Por isso, os roteiros devem ser entendidos como materiais adaptáveis, e não como procedimentos que precisam ser reproduzidos de maneira idêntica.

Apesar do potencial pedagógico identificado, o estudo apresenta uma limitação metodológica importante: os protótipos e roteiros foram desenvolvidos e analisados qualitativamente, sem uma aplicação sistemática com estudantes acompanhada por instrumentos de avaliação. Dessa forma, não é possível atribuir ao conjunto desenvolvido ganhos quantitativos de aprendizagem, aumento de desempenho ou efeitos estatisticamente significativos sobre motivação. Tais resultados dependem de investigação posterior em contexto escolar.

Como continuidade, recomenda-se aplicar a sequência didática em turmas do Ensino Médio, utilizando instrumentos de diagnóstico e avaliação, registros de observação, produções dos estudantes e entrevistas ou questionários. Estudos posteriores poderão comparar diferentes formas de implementação, verificar a aprendizagem conceitual e analisar quais experimentos apresentam maior potencial em função do conteúdo, do tempo de aula e das condições de infraestrutura. Essa etapa permitirá transformar o potencial pedagógico identificado no presente trabalho em evidências empíricas sobre a efetividade da proposta.

5. CONCLUSÃO

Assim, o trabalho não deve ser entendido como solução definitiva para as dificuldades do ensino experimental, mas como contribuição concreta para ampliar as possibilidades do professor. Sua principal perspectiva futura é levar os protótipos às salas de aula, ouvir estudantes e professores e utilizar essas evidências para aperfeiçoar as atividades. É nessa passagem da construção para a aplicação e da aplicação para a reflexão que a proposta poderá alcançar todo o seu potencial formativo.

A articulação com impressão 3D, simulação e robótica educacional amplia esse propósito ao aproximar o ensino de Física das tecnologias que fazem parte do mundo contemporâneo. Ao mesmo tempo, a utilização de materiais acessíveis mantém a proposta viável para contextos em que um laboratório convencional não está disponível.

Mais do que produzir objetos para um laboratório, o trabalho buscou construir possibilidades de encontro entre o estudante e os fenômenos físicos. A luz que se reflete, converge, é filtrada ou polarizada passa a ser observada em uma situação concreta, e essa observação pode servir como ponto de partida para perguntas e explicações. Nesse sentido, os recursos desenvolvidos representam uma tentativa de tornar o ensino de Óptica mais próximo da experiência dos estudantes, sem abrir mão do rigor conceitual.

O desenvolvimento do conjunto de experimentos demonstra a viabilidade de construir recursos didáticos de baixo custo para o ensino de Óptica articulando materiais acessíveis, impressão 3D, simulação computacional e elementos de robótica educacional. Os

seis roteiros produzidos abrangem fenômenos relevantes do currículo e foram estruturados com objetivos, fundamentação, materiais, procedimentos e questões de discussão, permitindo sua inserção em sequências didáticas.

A proposta atende ao objetivo de aproximar conceitos ópticos de situações observáveis e de oferecer ao professor um material de apoio adaptável a diferentes condições escolares. A integração com a aprendizagem significativa e com a abordagem investigativa reforça o papel do experimento como mediador da construção conceitual, e não apenas como ilustração da teoria.

Conclui-se, contudo, que a efetividade da proposta sobre a aprendizagem dos estudantes ainda requer validação em aplicações escolares sistemáticas. Assim, o principal avanço apresentado é a disponibilização de um conjunto estruturado e reproduzível de recursos experimentais, cuja utilização pode subsidiar novas pesquisas sobre aprendizagem de Óptica, fabricação digital e práticas experimentais no Ensino Médio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de Física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000200007>.

AUSUBEL, David Paul. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.

BEREZUKI, Paulo Oliveira; OBARA, Ana Tiyomi. Avaliação dos laboratórios de ciências e biologia das escolas públicas e particulares de Maringá, Estado do Paraná. Acta Scientiarum. Human and Social Sciences, Maringá, v. 32, n. 2, p. 207-215, 2010.

BORGES, Antônio Tarciso. Novos rumos para o laboratório escolar de ciências. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 291-313, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. Base Nacional Comum Curricular. Brasília, DF: MEC, 2018. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 10 ago. 2026.

CARVALHO, Anna Maria Pessoa de (org.). Ensino de Ciências por Investigação: condições para implementação em sala de aula. São Paulo: Cengage Learning, 2018.

CAVALCANTE, Marco Aurélio Alvarenga; TAVOLARO, Cristiane Regina. Física com materiais de baixo custo. Revista Brasileira de Ensino de Física, São Paulo, v. 23, n. 2, p. 238-243, 2001.

FREIRE, Paulo. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física. v. 4: Óptica e Física Moderna. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HEWITT, Paul G. Física Conceitual. 12. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

HODSON, Derek. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. Enseñanza de las Ciencias, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 299-

313, 1994.

MILLAR, Robin. The role of practical work in the teaching and learning of science. Washington, DC: National Academy of Sciences, 2004.

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

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. Curso de Física Básica: Óptica, Relatividade e Física Quântica. 5. ed. São Paulo: Blucher, 2014. v. 4.

ROSA, Cleci Werner da; ROSA, Álvaro Becker da. A experimentação no ensino de Física: análise da produção científica brasileira. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 12, n. 3, p. 159-180, 2012.

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica, ensino por investigação e argumentação: relações entre Ciências da Natureza e escola. Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências, Belo Horizonte, v. 17, p. 49-67, 2015.

SÉRÉ, Marie-Geneviève. Towards renewed research questions from the outcomes of the European project Labwork in Science Education. Science Education, v. 86, n. 5, p. 624-644, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1002/sce.10046>.

¹ Discente do Curso de Física Licenciatura, Programa Ensinar – Formação de Professores da UEMA, Universidade Estadual do Maranhão – Campus São Bento.

² Discente do Curso de Física Licenciatura, Programa Ensinar –
Formação de Professores da UEMA, Universidade Estadual do
Maranhão – Campus São Bento.

³ Professor do Curso de Física Licenciatura, Departamento de
Matemática e Física - Universidade Estadual do Maranhão – Campus
Caxias.