

Atividades Experimentais no Ensino de Física: contribuições, limites e evidências para a compreensão conceitual

Lorranny Beatriz de Oliveira Cerqueira¹, Lucélia Gonçalves da Costa², José Cardoso Batista³

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Angical do Piauí, Piauí, Brasil. E-mail: lolobeatriz0@gmail.com.br; ²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí (IFPI), Campus Angical do Piauí, Piauí, Brasil. E-mail: luceliagoncalves87@gmail.com.br; ³Doutorado em Física, Instituto Federal do Piauí (IFPI), Campus Angical do Piauí, Piauí, Brasil. E-mail: jose.cardoso@ifpi.edu.br.

<https://doi.org/10.67694/hqe00r82>

Received: 28/08/2026 | Accepted: 09/09/2026 | Published: 17/09/2026 | Pages: 135–143

RESUMO

As atividades experimentais ocupam posição relevante no ensino de Física, mas seus efeitos não decorrem automaticamente da presença de equipamentos ou da realização de práticas. Este estudo apresenta uma revisão bibliográfica ampliada, de caráter descritivo-analítico e abordagem qualitativa, com o objetivo de analisar criticamente contribuições, limites e evidências atribuídas à experimentação para a compreensão conceitual em Física. O corpus reuniu 15 estudos empíricos publicados entre 2016 e 2026: cinco trabalhos presentes na versão inicial da revisão e dez estudos recentes, publicados entre 2024 e 2026, selecionados de modo intencional para ampliar a diversidade de níveis de ensino, conteúdos, modalidades experimentais e instrumentos de avaliação. A síntese foi organizada em seis eixos: compreensão conceitual; investigação e grau de orientação; laboratórios físicos e virtuais; contextualização e modelagem; motivação e participação; mediação docente e avaliação. Os resultados mostram um quadro mais complexo que a associação direta entre atividade prática e aprendizagem. Estudos recentes registram ganhos conceituais em condições específicas, mas também encontram equivalência entre modalidades físicas e virtuais e, em alguns casos, ausência de vantagem do trabalho prático sobre demonstrações quando outros elementos da aula são controlados. A literatura converge para a importância do desenho pedagógico, da orientação adequada, da discussão dos dados, da explicitação de modelos e da avaliação alinhada aos objetivos. Conclui-se que a ex-

perimentação constitui um recurso potencialmente relevante para o ensino de Física quando integra práticas epistêmicas, mediação docente e objetivos de aprendizagem bem definidos, não devendo ser interpretada como estratégia intrinsecamente capaz de reduzir a abstração dos conteúdos.

Palavras-chave: atividades experimentais; ensino de Física; compreensão conceitual; ensino por investigação; laboratório virtual; práticas epistêmicas.

ABSTRACT

Experimental activities hold an important place in physics education, but their effects do not follow automatically from the presence of equipment or from performing practical tasks. This study presents an expanded bibliographic review with a descriptive-analytical and qualitative approach, aimed at critically examining the contributions, limitations, and evidence attributed to experimentation for conceptual understanding in physics. The corpus comprised 15 empirical studies published from 2016 to 2026: five papers retained from the initial version of the review and ten recent studies published between 2024 and 2026, intentionally selected to broaden the diversity of educational levels, physics topics, experimental modalities, and assessment procedures. The synthesis was organized into six analytical axes: conceptual understanding; inquiry and level of guidance; physical and virtual laboratories; contextualization and modeling; motivation and participation; and

teacher mediation and assessment. The findings depict a more complex picture than a direct association between practical activity and learning. Recent studies report conceptual gains under specific conditions, but they also show equivalence between physical and virtual modalities and, in some cases, no advantage of hands-on practical work over demonstrations when other classroom elements are controlled. The literature converges on the importance of pedagogical design, appropriate guidance, discussion of evidence, explicit modeling, and assessment aligned with learning objectives. Experimental work is therefore better understood as a potentially relevant educational resource when embedded in epistemic practices, teacher mediation, and well-defined learning goals, rather than as an intrinsically effective strategy for reducing the abstractness of physics content.

Key words: experimental activities; physics education; conceptual understanding; inquiry-based learning; virtual laboratory; epistemic practices.

INTRODUÇÃO

A aprendizagem de Física exige que estudantes articulem fenômenos observáveis, modelos explicativos, representações matemáticas e diferentes formas de linguagem científica. Conceitos como campo, força, energia, interação, propagação da luz e estados quânticos não são apreendidos apenas pela observação imediata; sua compreensão depende da construção de relações entre evidências, modelos e previsões. Por essa razão, a abstração própria da Física não deve ser tratada como um problema a ser simplesmente “eliminado”, mas como uma dimensão a ser mediada por estratégias que permitam ao estudante atribuir significado aos modelos e reconhecer seus vínculos com fenômenos e situações concretas.

Entre essas estratégias, as atividades experimentais ocupam lugar histórico no ensino de Ciências. Araújo e Abib (2003) já mostravam a diversidade de enfoques atribuídos à experimentação no ensino de Física, incluindo demonstração, verificação, investigação e problematização. Oliveira (2010) reforça que o valor pedagógico de uma atividade experimental depende do modo como ela é planejada e mediada, pois manipular materiais não equivale, por si só, a compreender relações conceituais. Essa distinção permanece central nas pesquisas recentes sobre laboratórios didáticos.

O panorama brasileiro também evidencia transformações importantes. Ao examinarem publicações da Revista Brasileira de Ensino de Física entre 1979 e 2022, Simó *et al.* (2025) identificaram crescimento do interesse por atividades experimentais, permanência de propostas com materiais de baixo custo e incorporação progressiva de tecnologias. Os autores também chamam atenção para lacunas na representação da Educação Básica e para a necessidade de ampliar a discussão das implicações pedagógicas das práticas experimentais. Assim, o debate contemporâneo desloca-se de uma pergunta genérica — “a experimentação funciona?” — para questões mais específicas sobre condições, objetivos, modalidades, formas de orientação e evidências de aprendizagem.

Esse deslocamento é sustentado por resultados recentes que não apontam uma única modalidade como universalmente superior. A meta-análise de Muilwijk e Lazonder (2023), com 35 estudos, não encontrou vantagem global significativa de investigações físicas sobre virtuais para aquisição de

conhecimento conceitual. Em investigação com estudantes do Ensino Médio, Papalazarou, Lefkos e Fachantidis (2024) observaram desempenho global semelhante entre laboratórios físicos e virtuais, com diferenças dependentes do conteúdo. Em 2025, Gnesdilow e Puntambekar encontraram vantagem da condição virtual em uma unidade sobre polias e na transferência do conhecimento para uma situação de aplicação, enquanto Abuna *et al.* (2026), em contexto etíope, registraram maiores ganhos no grupo de laboratório virtual orientado por investigação. Em contraste, Winkelmann *et al.* (2026) não encontraram diferenças na aquisição de conteúdo de óptica geométrica entre demonstrações e duas formas de trabalho prático, destacando a importância da qualidade do processo de ensino.

Além da aprendizagem conceitual, a literatura recente amplia o olhar para dimensões epistêmicas, investigativas e afetivas. Pols e Dekkers (2024) estruturaram a reformulação de um laboratório universitário a partir da integração entre conhecimentos procedimentais e conceituais, com ênfase em habilidades de investigação. Shi, Zuo e Wang (2025) mostraram que a explicitação de aspectos da natureza da ciência pode favorecer estudantes com diferentes níveis de raciocínio científico. Liu e Lewandowski (2025), com dados de mais de 30 mil estudantes, associaram a presença de atividades abertas a visões mais próximas das práticas da física experimental. Por sua vez, Nikitin *et al.* (2025) mostraram que maior interesse não significa necessariamente maior percepção de utilidade, evidenciando que motivação e aprendizagem precisam ser avaliadas como dimensões relacionadas, mas distintas.

A versão inicial do presente estudo analisava cinco trabalhos publicados em um único periódico e reconhecia explicitamente que essa concentração impedia interpretar os resultados como panorama abrangente da produção sobre experimentação em Física. A ampliação do corpus tornou-se, portanto, necessária para incorporar estudos de diferentes periódicos, países, níveis de ensino e modalidades experimentais, bem como pesquisas recentes com delineamentos comparativos, instrumentos de avaliação mais diversos e amostras mais amplas.

Diante desse cenário, a pergunta norteadora desta revisão é: quais contribuições, limitações e evidências relacionadas à compreensão conceitual são apresentadas pela literatura sobre o uso de atividades experimentais no ensino de Física? O objetivo geral é analisar criticamente as contribuições, limitações e evidências apresentadas pela literatura acerca do uso de atividades experimentais para a compreensão conceitual em Física, considerando modalidades de experimentação, conteúdos abordados, contextos educacionais, mediação pedagógica, instrumentos de avaliação e resultados relatados.

Como objetivos específicos, busca-se: identificar modalidades de atividades experimentais e conteúdos de Física recorrentes; caracterizar níveis de ensino, participantes, estratégias pedagógicas e instrumentos de avaliação; analisar evidências relacionadas à compreensão conceitual, contextualização, participação, motivação e práticas investigativas; e comparar convergências, divergências e limitações metodológicas entre os estudos. Essa organização permite compreender a experimentação não como categoria homogênea, mas como conjunto de práticas cujo significado educacional depende de seu desenho e de sua inserção no processo de ensino e aprendizagem.

REFERENCIAL TEÓRICO

Experimentação, compreensão conceitual e objetivos de aprendizagem

A experimentação escolar pode cumprir objetivos distintos: ilustrar fenômenos, verificar relações, produzir dados, testar modelos, desenvolver habilidades de medição, promover argumentação, explorar incerteza, estimular a formulação de hipóteses ou aproximar os estudantes de práticas científicas. Hofstein e Lunetta (2004) destacam que o laboratório oferece oportunidades importantes para aprendizagem, mas sua efetividade depende da integração entre experiência, raciocínio e orientação. Essa perspectiva é compatível com a literatura brasileira, na qual Araújo e Abib (2003) identificam pluralidade de finalidades e Oliveira (2010) enfatiza a necessidade de mediação pedagógica.

Uma distinção particularmente importante é a existente entre “fazer” e “aprender com o fazer”. Atividades muito centradas no cumprimento de procedimentos podem ocupar a atenção dos estudantes com montagem, execução e registro, sem necessariamente exigir explicação dos resultados. Por outro lado, a simples exposição de um experimento demonstrativo também não assegura compreensão se os estudantes não forem instados a prever, observar, comparar, justificar e relacionar evidências a modelos. O foco analítico, portanto, precisa recair sobre as operações cognitivas e epistêmicas mobilizadas durante a atividade.

Pesquisas recentes reforçam esse ponto. Winkelmann *et al.* (2026), ao compararem demonstração, trabalho prático com instruções detalhadas e trabalho prático com menor grau de instrução em óptica geométrica, não identificaram diferenças na aquisição de conteúdo entre as três condições. Os autores interpretam os resultados como evidência de que a qualidade do processo de ensino e a integração da atividade à aula podem ser mais decisivas que a oposição estrutural entre “ver” e “fazer”. Esse resultado ajuda a evitar interpretações simplistas segundo as quais maior manipulação física produziria automaticamente maior aprendizagem.

Ensino por investigação, orientação e práticas epistêmicas

O ensino por investigação pressupõe que estudantes participem de processos como formular questões, propor hipóteses, planejar procedimentos, produzir e interpretar dados, construir explicações e avaliar evidências. O ciclo de investigação sintetizado por Pedaste *et al.* (2015) organiza essas ações em fases interdependentes e evidencia que a investigação não se reduz à liberdade de manipular materiais. A qualidade da orientação é central: pouca orientação pode sobrecarregar estudantes; orientação excessivamente prescritiva pode reduzir a tomada de decisões e transformar a atividade em execução de receita.

Pols e Dekkers (2024) abordam essa tensão ao utilizar o modelo de conhecimentos procedimentais e conceituais em ciência (PACKS) para redesenhar um laboratório de primeiro ano. O estudo mostra que o desenvolvimento de habilidades investigativas requer planejamento explícito dos conhecimentos envolvidos e alinhamento entre objetivos pretendidos, atividades e avaliação. Shi, Zuo e Wang (2025) acrescentam que a investigação pode ser mais produtiva quando aspectos da natureza da ciência são tratados explicitamente, especialmente para estudantes com níveis baixos e intermediários de raciocínio científico.

As atividades abertas também têm implicações para a

forma como os estudantes compreendem a própria física experimental. Liu e Lewandowski (2025), analisando mais de 30 mil respostas em mais de cem instituições, observaram associação entre a inclusão de atividades abertas e respostas pós-instrução mais próximas das visões de especialistas sobre experimentação. Entretanto, o aumento do número de semanas de atividades abertas, a partir de uma presença mínima, não se associou linearmente a ganhos adicionais. O resultado reforça que a qualidade e a função das tarefas abertas importam mais do que sua simples quantidade.

Laboratórios físicos, virtuais e complementaridade de representações

O crescimento dos laboratórios virtuais ampliou a discussão sobre o papel da materialidade na aprendizagem. Ambientes digitais permitem manipular variáveis rapidamente, repetir situações, visualizar grandezas não diretamente observáveis e reduzir custos ou riscos. Laboratórios físicos, por sua vez, oferecem contato com instrumentos, ruído experimental, limitações de medida e aspectos táteis que podem ser relevantes para certos objetivos. A literatura recente indica que a escolha entre modalidades deve ser orientada pelo que se pretende que o estudante aprenda.

A meta-análise de Muilwijk e Lazonder (2023) não encontrou vantagem global de uma modalidade sobre a outra para conhecimento conceitual, embora tenha identificado condições em que ambientes virtuais podem ser favorecidos. Papalazarou, Lefkos e Fachantidis (2024) também observaram equivalência global entre modalidades, com diferenças localizadas por tópico. Gnesdilow e Puntambekar (2025) mostraram que estudantes em laboratório virtual de polias apresentaram ganhos superiores de conteúdo e melhor desempenho em uma questão de aplicação, sem desvantagem posterior na montagem de um sistema físico mais complexo.

Esses resultados não autorizam substituir indiscriminadamente laboratórios físicos por virtuais. Eles sugerem, antes, que cada modalidade possui affordances distintas. Ambientes virtuais podem favorecer visualização e controle de variáveis; ambientes físicos são particularmente relevantes quando habilidades instrumentais, medição real, incerteza e feedback sensorial integram os objetivos de aprendizagem. O desafio didático é escolher ou combinar recursos de modo coerente com o conteúdo e com a prática científica que se deseja desenvolver.

Contextualização, modelagem, motivação e mediação docente

A contextualização pode favorecer a atribuição de significado quando aproxima modelos físicos de situações relevantes para os estudantes sem reduzir o conteúdo a uma aplicação superficial. No corpus original, a abordagem de propriedades de materiais cerâmicos articulava fenômenos físicos, uso tecnológico e impactos ambientais. Em estudo recente, Harmer *et al.* (2024) redesenharam uma atividade de eletricidade e magnetismo a partir do funcionamento da ressonância magnética, registrando maior compreensão e engajamento com o processo de modelagem entre estudantes de perfil pré-médico.

Em conteúdos caracterizados por elevada distância entre experiência cotidiana e formalismo, experimentos também podem funcionar como contexto para raciocínio. Borish e Lewandowski (2024) acompanharam pares de estudantes em experimentos físicos de óptica quântica e identificaram recursos conceituais mobilizados enquanto os participantes

interpretavam evidências de interferência de fótons. O estudo não demonstra que o aparato, isoladamente, resolve dificuldades conceituais, mas mostra como o contato com evidências pode abrir oportunidades para discutir modelos clássicos e quânticos.

A motivação precisa ser interpretada com cuidado. [Nikitin et al. \(2025\)](#), em ampla amostra de estudantes do Ensino Médio, compararam demonstrações, show de ciências e trabalho prático e verificaram que o show de ciências gerou maior interesse, embora tenha sido percebido como menos útil que outras atividades. A distinção é importante: interesse, prazer, percepção de utilidade, participação e aprendizagem conceitual são dimensões diferentes. Uma atividade pode ser atrativa sem produzir maior compreensão, assim como uma atividade cognitivamente produtiva pode não ser a mais imediatamente apreciada.

Em todos esses casos, a mediação docente permanece decisiva. A aprendizagem significativa, na tradição de [Ausubel, Novak e Hanesian \(1980\)](#), depende da relação entre novas informações e conhecimentos prévios; no contexto experimental, essa relação é favorecida por perguntas, previsões, comparação de explicações e retomada dos resultados. A função do professor não se restringe a disponibilizar materiais: envolve tornar explícito o objetivo da investigação, orientar a atenção para evidências relevantes, regular o grau de abertura, apoiar a argumentação e conectar o que foi observado aos modelos físicos.

METODOLOGIA

Delineamento da revisão

Trata-se de uma revisão bibliográfica ampliada, de caráter descritivo-analítico e abordagem qualitativa, organizada

por síntese temática. A revisão não é apresentada como revisão sistemática exaustiva; adota uma estratégia de ampliação intencional e transparente do corpus original, com critérios explícitos de seleção e extração de dados. Essa opção metodológica foi adotada porque o propósito central é comparar diferentes formas de experimentação e evidências educacionais, preservando os cinco estudos que deram origem ao trabalho e incorporando pesquisas recentes capazes de ampliar sua diversidade analítica.

O corpus final reúne 15 estudos empíricos publicados entre 2016 e 2026. Foram mantidos os cinco trabalhos analisados na versão inicial, todos vinculados ao contexto da *Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí*, e incorporados dez estudos publicados entre 2024 e 2026 em periódicos nacionais e internacionais. A busca complementar foi realizada e conferida em setembro de 2026 em páginas de periódicos e indexadores acadêmicos, com ênfase em SciELO, *Physical Review Physics Education Research*, SpringerLink, Wiley Online Library e Taylor & Francis, além de rastreamento de referências relevantes.

Estratégia de busca e critérios de seleção

Foram combinados descritores em português e inglês, entre eles: “atividades experimentais” AND “ensino de Física”; “experimentação” AND “compreensão conceitual”; “physics education” AND experiment* AND “conceptual understanding”; “physics laboratory” AND inquiry; “virtual laboratory” AND physics AND learning; “physical versus virtual lab” AND physics. A busca recente privilegiou artigos publicados a partir de 2024, sem excluir trabalhos anteriores que constituíam o corpus original ou referências teóricas necessárias à interpretação dos resultados.

Quadro 1 – Critérios empregados na ampliação do corpus

Dimensão	Critério de inclusão	Critério de exclusão
Objeto	Estudos que abordam atividades experimentais, laboratórios, demonstrações ou investigações em ensino de Física.	Textos sem relação direta com ensino/aprendizagem de Física.
Tipo de estudo	Artigos empíricos com participantes e resultados educacionais; estudos quantitativos, qualitativos ou mistos.	Relatos puramente técnicos de montagem de equipamentos, editoriais, resumos de eventos e textos sem resultados educacionais.
Desfechos	Compreensão conceitual, aprendizagem, raciocínio, práticas investigativas, natureza da ciência, motivação, participação ou formação docente.	Estudos sem informação que permita discutir aprendizagem, processos ou experiência educacional.
Diversidade	Ensino Básico e Superior; laboratórios físicos, virtuais, demonstrações, investigação aberta/guiada e contextualização.	Duplicatas e estudos excessivamente redundantes para as mesmas categorias analíticas.
Atualidade	Prioridade para estudos de 2024–2026 na ampliação, mantendo os cinco artigos do corpus original.	Novos trabalhos antigos quando não acrescentavam dimensão analítica ausente no corpus.

Fonte: Elaboração dos autores, 2026.

Extração e síntese dos dados

Para cada estudo foram extraídas informações sobre: nível de ensino e participantes; conteúdo ou foco de Física; modalidade experimental; grau de orientação ou participação discente; instrumentos de coleta e avaliação; principais resultados; e limitações relevantes para a interpretação das evidências. Os resultados foram inicialmente comparados em uma matriz descritiva e, posteriormente, agrupados por

convergência temática.

A síntese foi organizada em seis eixos analíticos: (1) compreensão conceitual e aprendizagem de conteúdo; (2) investigação, abertura e grau de orientação; (3) laboratórios físicos e virtuais; (4) contextualização e modelagem; (5) motivação, participação e percepção de utilidade; e (6) mediação docente, avaliação e qualidade do processo de ensino. Essa estratégia permite comparar estudos com diferentes delinea-

mentos sem transformar medidas heterogêneas em um único indicador de efeito.

Como precaução interpretativa, resultados de estudos com pré e pós-testes, comparações entre grupos ou grandes bases de dados foram distinguidos de percepções autorrelatadas e estudos de caso. Assim, a presença de resultados favoráveis em determinado contexto é tratada como evidência situada, e não como comprovação de causalidade geral da experimentação.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do corpus ampliado

O corpus final reúne 15 estudos empíricos. Cinco pertencem ao conjunto inicial e dez foram incorporados para ampliar

a cobertura temporal e metodológica. Os estudos recentes acrescentam comparações entre laboratórios físicos e virtuais, intervenções orientadas por investigação, atividades abertas, modelagem contextualizada, experimentos de óptica quântica e análises de larga escala sobre motivação e visões de física experimental. Essa ampliação modifica substancialmente a interpretação possível: em vez de concentrar a discussão em resultados favoráveis relatados por poucos estudos locais, o novo corpus permite identificar condições em que modalidades distintas produzem resultados equivalentes, diferentes ou dependentes do desenho pedagógico.

Quadro 2 – Síntese dos 15 estudos empíricos analisados

Estudo/ano	Contexto	Modalidade/foco	Evidência principal	Leitura crítica para esta revisão
Silva Neto; Silva (2016)	3ª série do Ensino Médio	Máquina de choque de baixo custo; eletrostática; pré/pós-teste	Autores relataram maior dinamismo e compreensão após a atividade.	Resultado favorável, porém situado em uma turma e sem base para generalizar “redução da abstração”.
Marcos et al. (2016)	Ensino Médio; 30 estudantes	Queda livre; abordagem histórica + experimento; questionários	64,8% dos participantes consideraram mais efetiva a combinação entre perspectiva histórica e práticas experimentais.	Evidência combina aprendizagem e percepção; a integração de estratégias parece mais importante que o experimento isolado.
Santos; Costa (2016)	Licenciatura em Física; 2 docentes e 10 estudantes	Laboratório virtual; questionários	Percepções favoráveis sobre softwares como complemento didático e maior atratividade.	Percepção positiva não equivale a medida direta de ganho conceitual; mostra potencial de visualização e complementaridade.
Sousa Sobrinho; Lopes; Meneses (2018)	Formação inicial de professores; 40 estudantes	Uso e relevância do laboratório de Física; questionários	Laboratório percebido como relevante à formação e ao repertório didático.	O foco é formativo, não apenas aprendizagem de conteúdo; deve ser analisado separadamente do Ensino Médio.
Sousa Sobrinho (2021)	1º ano do Ensino Médio	Materiais cerâmicos; experimentos, problemas e discussão contextualizada	Relatos de aprendizagem significativa e reflexão crítica sobre aplicações e impactos.	Mostra valor da contextualização, mas depende de tarefas, mediação e formas de avaliação utilizadas.
Pols; Dekkers (2024)	Primeiro ano do Ensino Superior	Redesenho de laboratório pelo modelo PACKS; investigação	Alinhamento entre metas percebidas, alcançadas e pretendidas; integração de conhecimentos em experimento concebido pelos estudantes.	Fortalece a ideia de que práticas experimentais precisam articular conhecimento conceitual e procedimental.
Papalazarou; Lefkos; Fachantidis (2024)	Ensino Médio; 38 estudantes	Laboratórios físico e virtual; Mecânica e Eletricidade; investigação	Sem diferença global significativa entre modalidades; diferenças pontuais por tema; atitudes semelhantes.	Contraria a noção de superioridade intrínseca de uma modalidade e destaca adequação ao conteúdo e aos objetivos.
Borish; Lewandowski (2024)	Ensino Superior; dois pares de estudantes	Experimentos físicos de óptica quântica; think-aloud	Experimentos mobilizaram recursos conceituais na interpretação de interferência e distinções clássico/quântico.	Evidencia processos de raciocínio, mas o pequeno estudo de caso não permite inferências amplas de eficácia.
Harmer et al. (2024)	Ensino Superior; curso introdutório para pré-medicina	Modelagem em laboratório de eletricidade e magnetismo contextualizada por ressonância magnética	Aumentaram a compreensão e o engajamento com modelagem, mantidos em atividades subsequentes.	Contextualização pode sustentar práticas científicas quando integrada a tarefas de modelagem, e não apenas como exemplo motivacional.
Gnesdilow; Puntamarker (2025)	7ª e 8ª anos; 385 estudantes em 26 turmas	Laboratório físico pré-montado versus virtual; polias	Grupo virtual apresentou maior aprendizagem conceitual e melhor aplicação a novo contexto; sem desvantagem posterior na montagem física complexa.	Mostra que representações virtuais podem favorecer conceitos em determinadas condições, sem eliminar a importância da experiência física.
Shi; Zuo; Wang (2025)	Ensino Superior; 208 estudantes em seis turmas	Laboratório de Física; aula, investigação implícita e explícita; composição dos grupos	Investigação explícita favoreceu compreensão da natureza da ciência, especialmente em estudantes com menor/médio raciocínio científico.	A orientação metacognitiva/epistêmica é componente relevante do efeito da investigação.
Nikitin et al. (2025)	Ensino Médio; 9.647 respondentes; 1.128 em subconjunto comparável	Demonstrações, show de ciências e trabalho prático	Show de ciências foi mais interessante, porém percebido como menos útil; diferenças afetivas não acompanharam uma hierarquia simples de modalidades.	Motivação deve ser separada de aprendizagem e utilidade percebida; “mais atraente” não significa “mais formativo”.
Liu; Lewandowski (2025)	Ensino Superior; >30 mil estudantes, >100 instituições	Atividades laboratoriais abertas; E-CLASS	Presença de alguma atividade aberta associou-se a respostas pós-instrução mais próximas das visões de especialistas; duração adicional não produziu relação linear.	Abertura pode ser relevante, mas qualidade e natureza das tarefas importam mais que quantidade de semanas.
Winkelmann et al. (2026; online 2025)	7ª/8ª anos; 1.507 estudantes em 62 turmas	Óptica geométrica; demonstração, prática guiada detalhada e prática com menor orientação	Não houve diferença na aquisição de conteúdo entre as três práticas; qualidade do processo da aula ganhou destaque.	É a evidência mais direta contra a tese de que “fazer com as mãos” é automaticamente superior para conteúdo.
Abuna et al. (2026)	10º ano; 150 estudantes	Mecânica; investigação virtual, física e sem laboratório	Todos os grupos melhoraram; o grupo virtual investigativo obteve maior ganho e maior média pós-teste.	Resultado sugere vantagem contextual do virtual, influenciada também por acesso simultâneo, visualização e limitações de recursos do laboratório físico.

Fonte: Elaboração dos autores com base nos estudos analisados, 2026.

Compreensão conceitual: resultados favoráveis, equivalências e diferenças contextuais

Os cinco estudos do corpus inicial apresentam, em geral, resultados favoráveis à experimentação e à contextualização. A máquina de choque caseira foi associada a maior dinamismo e compreensão de eletrostática; a sequência sobre queda livre combinou história da ciência e prática experimental; a proposta com materiais cerâmicos articulou conceitos físicos, situações-problema e reflexão sobre aplicações. Esses resultados continuam relevantes, mas a ampliação do corpus mostra que devem ser lidos como evidências contextualizadas, especialmente porque os estudos utilizam amostras pequenas ou instrumentos predominantemente descritivos e perceptivos.

A literatura recente acrescenta comparações mais controladas. Papalazarou, Lefkos e Fachantidis (2024) não encontraram superioridade global de laboratório físico ou virtual: em alguns tópicos de eletricidade o desempenho favoreceu o virtual, mas o padrão geral foi de equivalência. A meta-análise de Muilwijk e Lazonder (2023), usada aqui como referência externa ao corpus empírico, chega a conclusão semelhante em 35 estudos: não há vantagem global de uma modalidade para conhecimento conceitual.

Gnesdilow e Puntambekar (2025), contudo, identificaram maior aprendizagem e transferência na condição virtual ao trabalhar mecânica de polias. A interpretação exige atenção às características do ambiente: simulações podem tornar relações entre variáveis mais visíveis e reduzir demandas operacionais que competem com o raciocínio conceitual. Em direção semelhante, Abuna *et al.* (2026) registraram maior ganho no grupo de laboratório virtual investigativo; os próprios autores relacionam esse resultado, entre outros fatores, às limitações de equipamento no laboratório físico e à possibilidade de todos os estudantes manipularem simultaneamente as simulações.

O resultado de Winkelmann *et al.* (2026) é particularmente relevante para a tese central desta revisão. Em 62 turmas e 1.507 estudantes, não houve diferença de aquisição de conteúdo entre demonstrações e duas modalidades de prática estudantil. Isso não significa que demonstração e trabalho prático sejam pedagogicamente idênticos, pois podem desenvolver objetivos diferentes; significa que, para o desfecho específico de conteúdo em óptica geométrica e sob as condições do estudo, a ação física do estudante não produziu vantagem adicional. A implicação é que a relação entre experimentação e compreensão precisa ser analisada por objetivo, conteúdo e processo de aula.

Investigação, abertura e grau de orientação

Os estudos recentes convergem para uma visão de investigação que combina agência discente e suporte pedagógico. Pols e Dekkers (2024) mostram que transformar um laboratório tradicional requer identificar conhecimentos conceituais e procedimentais envolvidos, sequenciar oportunidades de aprendizagem e construir avaliações coerentes com as habilidades pretendidas. A experiência final de elaboração de um experimento pelos estudantes aparece como culminância de aprendizagens previamente apoiadas, e não como atividade aberta lançada sem preparação.

Shi, Zuo e Wang (2025) evidenciam a importância de tornar explícitos aspectos da natureza da ciência. A investigação, sozinha, não garante que estudantes compreendam como conhecimento científico é produzido e justificado; intervenções

explícitas podem ser necessárias, sobretudo para estudantes com menor domínio de raciocínio científico. Liu e Lewandowski (2025) complementam esse quadro ao mostrar que alguma presença de atividades abertas se associa a visões mais expert-like da física experimental, mas não há relação linear simples entre mais semanas de abertura e maiores ganhos.

Esses achados sugerem um princípio de “abertura apoiada”: estudantes devem tomar decisões genuínas sobre questões, procedimentos, dados ou modelos, mas essas decisões precisam ser acompanhadas de objetivos claros, recursos adequados e momentos de reflexão. O grau ótimo de orientação não é fixo; depende da complexidade do conteúdo, da experiência dos estudantes e do tipo de conhecimento a desenvolver.

Laboratórios físicos e virtuais: da oposição à complementaridade

A comparação entre modalidades físicas e virtuais é um dos temas em que a ampliação do corpus mais altera as conclusões do artigo. O laboratório virtual deixa de aparecer apenas como recurso alternativo e passa a ser analisado em termos de suas características representacionais e investigativas. Visualização de grandezas, repetição rápida, controle de variáveis e redução do custo operacional podem liberar recursos cognitivos para interpretar relações conceituais. Ao mesmo tempo, o laboratório físico preserva experiências relacionadas a instrumentação, montagem, erro, incerteza, falhas e materialidade.

Os resultados de Papalazarou, Lefkos e Fachantidis (2024), Gnesdilow e Puntambekar (2025) e Abuna *et al.* (2026) impedem a formulação de uma regra única. Há situações de equivalência, de vantagem virtual e de resultados dependentes do tópico. Isso é coerente com Muilwijk e Lazonder (2023), para quem a efetividade relativa varia conforme idade e relevância do feedback tátil. A decisão didática, portanto, deve considerar se o objetivo principal é visualizar um modelo, desenvolver habilidades de medição, lidar com incerteza, operar instrumentos ou integrar essas dimensões.

A perspectiva de complementaridade é especialmente promissora. Uma simulação pode preceder a experiência física para explicitar relações e permitir exploração inicial; o experimento real pode, em seguida, introduzir incerteza, limitações e decisões instrumentais. O movimento inverso também pode ser produtivo quando o contato inicial com o fenômeno concreto fornece experiência sensorial relevante antes da abstração em um modelo virtual. O princípio central é que a sequência deve responder a um objetivo de aprendizagem, e não a uma preferência tecnológica.

Contextualização, modelagem e produção de significado

A contextualização aparece no corpus em formas bastante diferentes. No estudo de Sousa Sobrinho (2021), propriedades térmicas e mecânicas de materiais cerâmicos são relacionadas a usos, limitações e impactos ambientais. Marcos *et al.* (2016) articulam história da ciência e queda livre. Harmer *et al.* (2024) situam modelagem de eletricidade e magnetismo no contexto da ressonância magnética para estudantes com interesse em carreiras da saúde. Em comum, essas propostas não utilizam o contexto apenas como “curiosidade”, mas como estrutura para interpretar conceitos e tomar decisões.

A modelagem constitui ponte importante entre fenômeno e abstração. Em atividades experimentais, o estudante não observa diretamente uma teoria; observa eventos, medidas ou

representações que precisam ser interpretados por meio de modelos. A atividade é conceitualmente produtiva quando solicita comparação entre previsão e evidência, análise de discrepâncias, explicação das relações observadas e revisão de ideias. Esse movimento é visível no trabalho de [Borish e Lewandowski \(2024\)](#), no qual experimentos de óptica quântica funcionam como contexto para acompanhar os recursos conceituais mobilizados pelos estudantes diante de evidências não intuitivas.

Dessa perspectiva, “reduzir a abstração” é uma expressão insuficiente para caracterizar o papel da experimentação. A Física continua exigindo abstração; o que a atividade experimental pode fazer é fornecer referências empíricas, representacionais e discursivas para que a abstração seja construída e testada. Essa formulação é mais precisa e evita sugerir que fenômenos observáveis substituam modelos teóricos.

Motivação, participação e percepção de utilidade

A versão inicial do artigo associava atividades experimentais a maior interesse e participação, o que é consistente com parte da literatura. Entretanto, o estudo de [Nikitin et al. \(2025\)](#) mostra que a dimensão afetiva é multidimensional: o show de ciências foi mais interessante para estudantes do Ensino Médio, mas percebido como menos útil que outras modalidades. Esse resultado adverte contra o uso de satisfação ou entusiasmo como substitutos de evidência de aprendizagem.

Também é necessário distinguir participação comportamental de engajamento cognitivo. Manipular equipamentos pode aumentar a participação visível, mas não garante que os estudantes estejam interpretando dados ou articulando conceitos. Inversamente, uma demonstração acompanhada de previsão, registro, discussão e argumentação pode gerar atividade cognitiva intensa mesmo com menor manipulação.

Portanto, estudos futuros devem combinar indicadores afetivos com medidas conceituais, observação das interações e análise das tarefas realizadas pelos estudantes.

Mediação docente, avaliação e qualidade do desenho pedagógico

A principal convergência do corpus ampliado é que a experimentação não pode ser avaliada isoladamente de seu desenho pedagógico. O professor define o problema, o grau de orientação, o tipo de registro, a relação entre previsão e observação, as perguntas que exigem explicação e o modo como os resultados serão retomados. Uma mesma montagem experimental pode funcionar como demonstração ilustrativa, verificação procedimental ou investigação conceitualmente exigente, dependendo dessas decisões.

A avaliação também influencia a interpretação dos resultados. Questionários de percepção informam interesse, utilidade percebida ou opinião, mas não medem diretamente compreensão conceitual. Pré e pós-testes permitem estimar mudança, porém exigem atenção a grupos comparáveis e qualidade dos instrumentos. Estudos de grande escala, como [Liu e Lewandowski \(2025\)](#) e [Winkelmann et al. \(2026\)](#), ampliam a robustez quantitativa, mas respondem a perguntas específicas e não substituem estudos qualitativos capazes de revelar como estudantes raciocinam, como exemplificado por [Borish e Lewandowski \(2024\)](#).

Assim, uma agenda metodologicamente mais robusta combina fontes de evidência: testes conceituais validados, produções escritas, registros de interação, desempenho em tarefas experimentais, entrevistas e medidas afetivas. A triangulação permite diferenciar “gostar da atividade”, “realizar corretamente um procedimento”, “compreender o modelo” e “transferir o conhecimento para novo contexto”.

Quadro 3 – Síntese interpretativa das condições associadas a uma experimentação pedagogicamente produtiva

Dimensão	O que a literatura ampliada indica	Implicação didática
Objetivo	Resultados variam conforme o desfecho: conteúdo, habilidades, natureza da ciência, motivação e epistemologia não são equivalentes.	Definir previamente o que se espera que o experimento desenvolva e avaliar esse mesmo objetivo.
Orientação	Investigação produtiva requer equilíbrio entre agência discente e apoio; abertura sem preparação não é garantia de aprendizagem.	Usar perguntas, scaffolds e etapas de reflexão, reduzindo apoio progressivamente quando apropriado.
Modalidade	Laboratórios físicos e virtuais podem ser equivalentes ou apresentar vantagens contextuais distintas.	Escolher ou combinar modalidades conforme conteúdo, feedback sensorial, recursos e objetivos.
Modelagem	Evidências empíricas ganham significado quando relacionadas explicitamente a modelos, previsões e explicações.	Solicitar previsões, interpretação dos dados, confronto com modelos e justificativas.
Mediação	A qualidade do processo de aula pode ser mais decisiva que a oposição demonstração versus prática.	Planejar discussão pré e pós-experimento e orientar atenção para evidências relevantes.
Avaliação	Percepção positiva e motivação não substituem medidas de compreensão; diferentes instrumentos captam dimensões diferentes.	Combinar instrumentos e evitar conclusões causais baseadas apenas em autorrelato.

Fonte: elaboração dos autores.

LIMITAÇÕES DA REVISÃO

A ampliação do corpus aumenta a diversidade do artigo, mas não elimina limitações. A seleção recente foi intencional e orientada por categorias analíticas, não por protocolo de revisão sistemática exaustiva. Consequentemente, os 15 estudos não devem ser interpretados como representação estatística

de toda a produção internacional sobre experimentação em Física. A presença de estudos de diferentes países também introduz variações curriculares, culturais e de infraestrutura que limitam comparações diretas.

Outra limitação decorre da heterogeneidade dos desfechos. Alguns estudos avaliam conteúdo por pré e pós-testes; outros examinam natureza da ciência, visões sobre experi-

mentação, motivação, percepção ou raciocínio em situações específicas. Essa diversidade é útil para compreender a complexidade do fenômeno, mas impede sintetizar os resultados em um único efeito. Além disso, parte do corpus original utiliza amostras pequenas e instrumentos descritivos, o que requer cautela na interpretação de relações causais.

Essas limitações foram tratadas por meio de síntese temática e diferenciação entre tipos de evidência. Estudos futuros podem avançar com revisões sistemáticas e meta-análises específicas para conteúdos, níveis de ensino ou modalidades experimentais, bem como com intervenções que comparem condições mantendo constantes objetivos, tempo, mediação e instrumentos de avaliação.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão ampliada permite reformular a conclusão originalmente centrada em cinco estudos. As atividades experimentais podem contribuir para a compreensão conceitual, contextualização, participação e desenvolvimento de práticas investigativas no ensino de Física, mas tais contribuições não decorrem automaticamente da realização de um experimento. O conjunto de 15 estudos mostra tanto resultados favoráveis quanto equivalências entre modalidades e ausência de vantagens em comparações específicas.

Em relação à compreensão conceitual, a evidência mais consistente é condicional: laboratórios virtuais podem favorecer aprendizagem quando tornam relações invisíveis mais acessíveis ou reduzem demandas operacionais; laboratórios físicos são importantes quando manipulação, instrumentação, medição e incerteza fazem parte do objetivo; demonstrações podem produzir aprendizagem de conteúdo semelhante ao trabalho prático quando integradas a processos de observação, registro e discussão. Portanto, nenhuma modalidade deve ser tratada como superior por princípio.

O ensino por investigação emerge como eixo promissor quando acompanhado de orientação adequada. Atividades abertas podem favorecer agência e visões mais sofisticadas sobre experimentação, mas seus resultados dependem da preparação dos estudantes e da explicitação dos critérios de produção e avaliação de evidências. Da mesma forma, contextualização e modelagem tornam-se pedagogicamente relevantes quando estruturam o raciocínio e não apenas aumentam o apelo superficial da atividade.

Com base no corpus analisado, a formulação mais adequada não é que a experimentação “reduz a abstração” da Física, e sim que pode oferecer experiências empíricas e representacionais a partir das quais os estudantes constroem, testam e revisam abstrações. Essa mudança conceitual fortalece o artigo porque aproxima a conclusão do modo como a ciência relaciona observações e modelos.

Para a prática docente, os resultados indicam cinco decisões fundamentais: explicitar o objetivo de aprendizagem; selecionar a modalidade experimental em função do conteúdo; calibrar o grau de orientação; criar momentos de previsão, interpretação e argumentação; e avaliar com instrumentos coerentes com o objetivo proposto. Para a pesquisa, permanece necessário investigar não apenas se atividades experimentais estão presentes, mas quais componentes do desenho pedagógico explicam os resultados observados e como esses efeitos variam entre conteúdos, públicos e contextos.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses relacionado à elaboração deste estudo.

FINANCIAMENTO

Esta pesquisa não recebeu financiamento específico.

REFERÊNCIAS

- ABUNA, T. *et al.* Enhancing conceptual understanding of secondary school students on mechanics through inquiry-driven laboratory instruction in physics education. **Discover Education**, v. 5, p. 458, 2026. DOI: [10.1007/s44217-026-01616-5](https://doi.org/10.1007/s44217-026-01616-5).
- ARAÚJO, M. S. T.; ABIB, M. L. V. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 25, n. 2, p. 176–194, 2003. DOI: [10.1590/S1806-11172003000200007](https://doi.org/10.1590/S1806-11172003000200007).
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BORISH, V.; LEWANDOWSKI, H. J. Student reasoning about quantum mechanics while working with physical experiments. **Physical Review Physics Education Research**, v. 20, p. 020135, 2024. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020135](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020135).
- CANRIGHT, J. P.; BRAHMIA, S. W. Modeling novel physics in virtual reality labs: an affective analysis of student learning. **Physical Review Physics Education Research**, v. 20, p. 010146, 2024. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010146](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010146).
- FERNANDES, F. C. R.; PRESTES, A. Contextualização e interdisciplinaridade: revisando conceitos e aplicações no ensino de física e ciências. **Revista Univap**, v. 27, n. 55, 2021. DOI: [10.18066/revistaunivap.v27i55.2623](https://doi.org/10.18066/revistaunivap.v27i55.2623).
- GNESDILOW, D.; PUNTAMBEKAR, S. Middle School Students' Application of Science Learning From Physical Versus Virtual Labs to New Contexts. **Science Education**, v. 109, n. 5, p. 1177–1194, 2025. DOI: [10.1002/sce.21953](https://doi.org/10.1002/sce.21953).
- HARMER, M. *et al.* Leveraging scientific modeling to engage pre-med undergraduates in physics lab courses. **Physical Review Physics Education Research**, v. 20, p. 020150, 2024. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020150](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020150).
- HOFSTEIN, A.; LUNETTA, V. N. The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century. **Science Education**, v. 88, n. 1, p. 28–54, 2004. DOI: [10.1002/sce.10106](https://doi.org/10.1002/sce.10106).
- HOLMES, N. G. *et al.* Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. **Physical Review Physics**

Education Research, v. 13, p. 010129, 2017. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129).

LIU, Q.; LEWANDOWSKI, H. J. Students' views of experimental physics after participating in lab courses with open-ended activities. **Physical Review Physics Education Research**, v. 21, p. 020151, 2025. DOI: [10.1103/5np1-mccl](https://doi.org/10.1103/5np1-mccl).

MARCOS, M. *et al.* O estudo da queda livre no ensino médio: história e experimentos. **Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, v. 2, n. 2, p. 66–73, 2016. DOI: [10.51361/somma.v2i2.47](https://doi.org/10.51361/somma.v2i2.47).

MUILWIJK, S. E.; LAZONDER, A. W. Learning from physical and virtual investigation: a meta-analysis of conceptual knowledge acquisition. **Frontiers in Education**, v. 8, p. 1163024, 2023. DOI: [10.3389/feduc.2023.1163024](https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1163024).

NIKITIN, A. *et al.* Physics demonstrations, science show, or hands-on practical work? Exploring students' intrinsic motivation. **Physical Review Physics Education Research**, v. 21, p. 010146, 2025. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010146](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010146).

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciências: reunindo elementos para a prática docente. **Acta Scientiae**, v. 12, n. 1, p. 139–153, 2010.

PAPALAZAROU, N.; LEFKOS, I.; FACHANTIDIS, N. The Effect of Physical and Virtual Inquiry-Based Experiments on Students' Attitudes and Learning. **Journal of Science Education and Technology**, v. 33, p. 349–364, 2024. DOI: [10.1007/s10956-023-10088-3](https://doi.org/10.1007/s10956-023-10088-3).

PEDASTE, M. *et al.* Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. **Educational Research Review**, v. 14, p. 47–61, 2015. DOI: [10.1016/j.edurev.2015.02.003](https://doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003).

POLS, C. F. J.; DEKKERS, P. J. J. M. Redesigning a first year physics lab course on the basis of the procedural and conceptual knowledge in science model. **Physical Review**

Physics Education Research, v. 20, p. 010117, 2024. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010117](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.010117).

SANTOS, P. S.; COSTA, L. E. D. L. A inserção do laboratório virtual como recurso didático no Curso de Licenciatura em Física. **Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, v. 2, n. 1, p. 83–91, 2016. DOI: [10.51361/somma.v2i1.30](https://doi.org/10.51361/somma.v2i1.30).

SHI, W.-Z.; ZUO, C.; WANG, J. Impact of inquiry-based teaching and group composition on students' understanding of the nature of science in college physics laboratory. **Physical Review Physics Education Research**, v. 21, p. 010134, 2025. DOI: [10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010134](https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.21.010134).

SILVA NETO, H. P.; SILVA, Y. M. R. A “máquina de choque caseira” como ferramenta de ensino-aprendizagem da eletrostática. **Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, v. 2, n. 1, p. 77–82, 2016. DOI: [10.51361/somma.v2i1.29](https://doi.org/10.51361/somma.v2i1.29).

SIMÓ, K. D. V. *et al.* Atividades experimentais e o ensino de física: um panorama a partir da Revista Brasileira de Ensino de Física – 1979 a 2022. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 47, supl. 1, e20240435, 2025. DOI: [10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0435](https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0435).

SOUSA SOBRINHO, A. Contextualização das propriedades físicas dos materiais cerâmicos no ensino médio: uma abordagem associada à BNCC. **Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, v. 7, p. 1–16, 2021. DOI: [10.51361/somma.v7i1.171](https://doi.org/10.51361/somma.v7i1.171).

SOUSA SOBRINHO, A.; LOPES, L. O.; MENESES, L. S. Laboratório de Física: uso e relevância na formação inicial de professores. **Somma: Revista Científica do Instituto Federal do Piauí**, v. 4, n. 1, p. 90–102, 2018. DOI: [10.51361/somma.v4i1.116](https://doi.org/10.51361/somma.v4i1.116).

WINKELMANN, J. *et al.* Three practices of experimenting in the physics classroom – impact on students' content knowledge acquisition. **International Journal of Science Education**, v. 48, n. 9, p. 1311–1333, 2026. Publicado online em 29 jan. 2025. DOI: [10.1080/09500693.2025.2453954](https://doi.org/10.1080/09500693.2025.2453954).