

Tendências, lacunas e recomendações na adoção de inovações: uma revisão sistemática da literatura na Educação em Ciências

Trends, gaps and recommendations in the adoption of innovations: a systematic literature review in Science Education

Felippe Percheron ^a, Tobias Espinosa ^b, Ives Solano Araujo ^b

^a Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (PPGEnFís), Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil; ^b Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

Resumo. A adoção de inovações na educação é um tema relevante diante das rápidas evoluções tecnológicas e metodológicas que buscam atender às necessidades dos alunos. Na Educação em Ciências, essas inovações têm o potencial de transformar os ambientes educacionais com abordagens mais interativas e eficazes. Contudo, a implementação não é uniforme, sendo influenciada por fatores contextuais, formação docente e características das inovações. Realizamos uma revisão sistemática da literatura para investigar como a adoção de inovações é tratada nas pesquisas em Educação em Ciências, e analisamos 55 artigos. Os resultados destacam metodologias e métodos ativos e tecnologias emergentes, mas também apontam desafios estruturais e limitações na formação docente. O estudo contribui ao identificar tendências, recomendações e a necessidade de alinhamento teórico mais consistente, oferecendo base para futuras investigações e práticas educacionais.

Palavras-chave:

Adoção de inovações, Educação em Ciências, STEM, Revisão de Literatura.

Submetido em

28/10/2025

Aceito em

12/03/2026

Publicado em

26/03/2026

Abstract. The adoption of innovations in education is a pertinent theme amid the swift evolution of technological and methodological advancements aimed at addressing students' diverse needs. In Science Education, these innovations hold the potential to transform educational environments through more interactive and effective approaches. However, their implementation is far from uniform, often shaped by contextual factors, teacher training, and the inherent characteristics of the innovations themselves. We conducted a systematic literature review to examine how the adoption of innovations is addressed in research on Science Education, analyzing 55 articles. The findings emphasize active methodologies and methods and emerging technologies while also revealing structural challenges and limitations in teacher training. This study contributes by identifying trends, recommendations, and the pressing need for a more consistent theoretical alignment, thereby laying a foundation for future investigations and fostering more effective educational practices.

Keywords: Adoption of innovations, Science Education, STEM, Literature Review.

Introdução

A adoção de inovações na educação é um tema de crescente relevância, especialmente diante da rápida evolução tecnológica e das novas alternativas metodológicas de ensino que buscam atender às diversas necessidades dos alunos. A integração de inovações na Educação em Ciências tem potencial para a transformação dos ambientes educacionais, promovendo abordagens mais interativas e eficazes que estimulam o engajamento dos estudantes e melhoram os resultados de aprendizagem (Apkarian et al., 2021; Tabarés & Boni, 2023;

Turpen et al., 2016; Yik et al., 2022). Diversas ferramentas e propostas pedagógicas emergem constantemente, oferecendo possibilidades variadas para enriquecer o processo educativo.

Entretanto, a adoção de inovações se configura como um problema de pesquisa em Educação em Ciências porque, embora existam alternativas e propostas instrucionais conhecidas e com potencial reconhecido, seu efetivo uso nas práticas educacionais permanece abaixo do esperado frente a esse quadro; mesmo em contextos nos quais os docentes conhecem as propostas, sabem como utilizá-las e reconhecem seu potencial para promoção de aprendizagens (Andrews et al., 2020; Froyd et al., 2013; Goodwin et al., 2018; Henderson, 2005; Henderson & Dancy, 2007, 2008; Vishnubhotla et al., 2022). Aqui, empregamos adoção para designar o processo que leva algo a deixar de ser apenas conhecido ou disponível e passar a ser efetivamente incorporado às práticas (Rogers, 2003). Nessa perspectiva, a adoção não é um evento pontual, mas um percurso que se estende no tempo, abrangendo desde o conhecimento inicial e a formação de uma atitude em relação à inovação até a decisão de adotá-la ou rejeitá-la, sua implementação e a confirmação consequente dessa decisão. Em termos estritos, adotar é decidir fazer pleno uso da inovação como melhor curso de ação, e a confirmação pode levar à descontinuação, isto é, ao abandono de uma inovação previamente adotada (Rogers, 2003).

Esse descompasso entre disponibilidade e reconhecimento de alternativas e baixa adoção indica que ela não pode ser compreendida como um efeito direto da qualidade intrínseca da proposta ou do acesso a essa. A adoção de inovações se trata de um fenômeno social e institucionalmente situado, no qual a inovação é interpretada, negociada, apoiada (ou não) e ajustada sob condições concretas de trabalho e de culturas institucionais específicas (Fullan, 2009; Rogers, 2003). Isto é, a implementação de inovações usualmente não ocorre de maneira automática ou homogênea: ela tende a ser apropriada de modos diversos, com adaptações, resistências e reconfigurações do que estava inicialmente previsto. Distintos fatores como o contexto institucional, a formação docente e as características das inovações em si desempenham papéis fundamentais na adoção e efetividade dessas práticas (Fullan, 2009).

A revisão de literatura de Tavares (2019) investigou o tratamento do conceito de inovação em pesquisas educacionais entre 1974 e 2017, por meio de uma busca nas plataformas *SciELO* e *Web of Science*, compreendendo a análise de 23 artigos. O autor destacou que muitas pesquisas carecem de definições claras do que consideram como inovação em educação, associando frequentemente o conceito a uma visão otimista dos problemas educacionais, sem fundamentar essa relação. Em outra pesquisa, Morad et al. (2021) realizaram uma revisão integrativa mapeando 100 definições de inovação entre 1934 e 2017. Os resultados revelaram que os componentes mais recorrentes estavam relacionados ao “tipo de resultado” e aos “níveis de resultado”, evidenciando a tendência da literatura em priorizar resultados finais em vez do processo de adoção. Petter et al. (2025) analisaram 66 artigos de revisão sobre inovação em Educação, identificando uma variedade de abordagens e termos associados. Os fatores que influenciam a adoção abrangem barreiras institucionais, características dos professores e alunos, e a interação entre eles.

Essas revisões convergem para a identificação de uma polissemia do termo inovação no âmbito educacional, que se liga a diferentes concepções ideológicas e epistemológicas sobre ensino e aprendizagem, além da ausência de um marco teórico orientador. Além disso, elas fornecem um panorama abrangente sobre o conceito de inovações no ensino e suas implicações práticas, embora não sejam particularmente descritivas sobre o tema na Educação em Ciências. Neste estudo adotamos um entendimento sobre inovação alinhado à perspectiva de Rogers (2003), que define inovação como um objeto, prática ou ideia percebidos como novos por alguém em um determinado contexto. Assim, tratamos como inovação propostas e recursos apresentados como novidade no ensino em alguma instituição, de modo a abarcar, de forma consistente, a heterogeneidade de estudos na amostra da revisão.

Com o intuito de aprofundar o entendimento sobre o uso de inovações na Educação em Ciências, e potencialmente contribuir para o desenvolvimento de pesquisas e estratégias mais adequadas e eficientes para a implementação de inovações, realizamos uma revisão de literatura destinada a examinar como artigos de pesquisa têm abordado esse tema nessa área. Para isso, realizamos análise qualitativa sobre uma amostra de 55 artigos publicados entre 2013 e 2023, e buscamos responder às seguintes questões de pesquisa:

1. *Qual é o perfil dos artigos de pesquisa que investigam o processo de adoção de inovações na Educação em Ciências?*
2. *Quais são os referenciais teóricos utilizados pelos autores no desenvolvimento das pesquisas sobre adoção de inovações na Educação em Ciências?*
3. *Quais são as recomendações para facilitar a adoção de inovações apresentadas nas pesquisas sobre o tema na Educação em Ciências?*
4. *Quais são as principais justificativas declaradas pelos autores ao sustentar a realização de pesquisas sobre a adoção de inovações na Educação em Ciências?*

Nas próximas seções apresentamos a metodologia empregada nesta revisão, delineando os critérios e procedimentos para construção de nossa amostra; os resultados da nossa pesquisa e nossas análises, divididos a partir das questões de pesquisa; e considerações finais sobre o estudo.

Métodos

Organizamos esta revisão sistemática da literatura de acordo com as seguintes etapas (Cooper et al., 2019): *formulação do problema* (definição das variáveis e relações de interesse, permitindo selecionar trabalhos relevantes para a revisão); *busca na literatura* (identificação de fontes e termos relevantes à revisão); *coleta de informações* (registro de informações relevantes sobre os estudos encontrados); *avaliação* (identificação e aplicação de critérios para selecionar estudos que possam responder às questões de pesquisa); *análise e integração dos resultados dos estudos* (aplicação de procedimentos para combinar e diferenciar resultados entre os estudos); *interpretação* (conclusões extraídas a partir dos estudos) e; *apresentação dos resultados da análise* (detalhamento dos procedimentos metodológicos e

resultados da revisão). Tomando nosso problema de pesquisa como a abordagem do processo de adoção de inovações em investigações na Educação em Ciências, entendemos que deveríamos responder às questões delineadas e anteriormente apresentadas.

Empreendemos buscas nas plataformas *Web of Science* (Coleção Principal – WoSCP), *SciELO Citation Index* e *Scopus*, utilizando os seguintes termos nos campos de título, resumo e palavras-chave: (adoção OR *adopción* OR *adoption*) AND (inov* OR *innov** OR “*instructional change*” OR “mudança instrucional” OR “*cambio de instrucción*”). Os asteriscos nas palavras permitem que variações dos termos fossem incluídas (como inovador, *innovation*, *innovative*, *innovación* etc.), e as aspas garantem a consulta dos termos exatamente como foram escritos. Os operadores booleanos AND e OR associam termos de interesse e ampliam a pesquisa, buscando por termos como “adoção de inovações”, “adoção de mudança instrucional”, “*adoption of innovation/innovations*”. Dessa busca inicial, localizamos 25.922 arquivos (20.882 arquivos na WoSCP; 610, na *SciELO Citation Index*; e 4.430, na *Scopus*).

Na busca inicial, aplicamos uma limitação temporal a 10 anos, selecionando trabalhos publicados entre 2013 e 2023. Esse recorte foi adotado para privilegiar a produção mais recente sobre o tema e porque, sendo a novidade das inovações relativa ao tempo e ao contexto, janelas muito extensas tenderiam a incluir propostas já estabilizadas, deslocando o foco do fenômeno analisado. Associado a isso, também limitamos a publicações em língua inglesa, portuguesa e espanhola. Desse primeiro filtro, resultaram 20.888 arquivos.

Em uma etapa de aplicação de filtros gerais, delimitamos nosso escopo para o campo da Educação e Educação em Ciências, utilizando os seguintes termos: *Education Educational Research*; *Education Scientific Disciplines*; *Education Special*; *Engineering*; *Mathematics*; *Physics and Astronomy*; *Chemistry*; *Earth and Planetary Sciences*; *Science Education*; e STEM. Como recorte de “Educação em Ciências”, decidimos incluir áreas de conhecimento inerentes a esse campo (como Ensino de Física, de Química, de Biologia, de Geologia) e também à grande área de Educação STEM (*Science, Technology, Engineering and Mathematics* – Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática). Isso foi feito com a intenção de expandir as possibilidades de localizar artigos que pudessem integrar nossa amostra de análise.

Como as plataformas diferem entre si na estrutura de busca, nas bases WoSCP e *SciELO Citation Index* esses termos estavam organizados em categorias preestabelecidas, bastando que fossem selecionados. Na plataforma *Scopus*, entretanto, a estrutura era diferente. Para isso, buscando abranger o mesmo campo de produção, utilizamos o operador booleano OR entre cada um desses termos elencados acima, integrando esse grupo com os termos principais (adoção, inovação e suas variações) através do operador AND. Com essa restrição, restaram 421 arquivos.

Na terceira etapa, de filtros específicos, passamos à leitura de títulos, resumos e palavras-chave desses 421 arquivos, selecionando artigos de pesquisa (de periódicos ou de eventos/conferências) que tenham estudado o processo de adoção de inovações nas nossas áreas de interesse. Nesse recorte, selecionamos para leitura integral 43 trabalhos que entendemos apresentar potencial para responder às questões delineadas, excluindo dois

arquivos que eram editoriais, um com apenas o resumo disponível e 375 artigos que estavam: *fora do escopo* (trabalhos que não tratavam centralmente sobre adoção de inovações; N = 152); *fora da área de Educação em Ciências delimitada* (trabalhos que tratavam de adoção de inovações, mas pertenciam a áreas de conhecimento como saúde, indústria, negócios, agricultura e ciências da computação; N = 208), e; *repetidos entre as plataformas* (N = 15).

Apesar de selecionarmos cuidadosamente os termos de busca e os filtros aplicados, observamos um alto número de trabalhos que não tratavam do nosso tema de interesse ou que não se enquadravam na área delimitada. Em certa medida, isso se deve, geralmente, à subjetividade da indexação de trabalhos em plataformas (resultando em problemas para capturar todos os aspectos do trabalho a partir de um resumo conciso), à suscetibilidade a erros de digitação, e à variabilidade dos termos utilizados para se referir a um mesmo tópico (Glanville, 2019; Wanyama et al., 2022). Particularmente, a polissemia que existe no conceito de “inovação” – como apontado por Tavares (2019), Morad et al. (2021) e Percheron et al. (2025) – é um fator determinante na indexação de publicações.

Em uma tentativa de reduzir perdas de trabalhos potencialmente relevantes à revisão e que não estivessem indexados nas plataformas consultadas, adicionamos um filtro extra de seleção. Mantendo o escopo delineado, buscamos por outros artigos de pesquisa com participação do autor com maior número de trabalhos presentes na nossa amostra para leitura integral (oriunda do terceiro filtro de seleção). Assim, adicionamos mais 12 artigos com (co)autoria de Charles Henderson a ela, através de consulta à sua lista de produções (disponível em: <https://sites.google.com/view/chenderson/publications/journal-articles>. Acesso em 20 de fevereiro de 2024).

Nossa amostra final compreendeu 55 artigos que integraram a análise qualitativa da presente revisão. Nessa etapa, realizamos a leitura integral de cada artigo e extraímos, para uma planilha, características do estudo e excertos textuais que explicitavam: área de conhecimento; nível de ensino; justificativas para realização do estudo; objetivos e questões de pesquisa; metodologia; referencial teórico e descrição do seu respectivo uso; tipo de inovação; foco e fragmentos textuais sobre resultados relativos ao foco; e recomendações para o uso de inovações apresentadas pelos autores. A partir dessa base de informações, procedemos para elaboração de categorias de análise, as quais foram construídas a partir do próprio material, sendo refinadas iterativamente até entendermos que havia alcançado estabilidade semântica. A classificação final de cada estudo foi revisitada em função dos excertos extraídos, explicitando os critérios estabelecidos.

Na divisão a respeito das áreas de conhecimento, ocorreu que algumas categorias também pertencem ao campo STEM (como o Ensino de Engenharia e Matemática, por exemplo). Isso foi feito quando um trabalho tinha como foco exclusivo uma dessas áreas, mas possuía vínculo no próprio trabalho à área STEM como foco temático mais amplo.

Na Figura 1 sintetizamos o esquema de seleção que utilizamos nesta revisão.

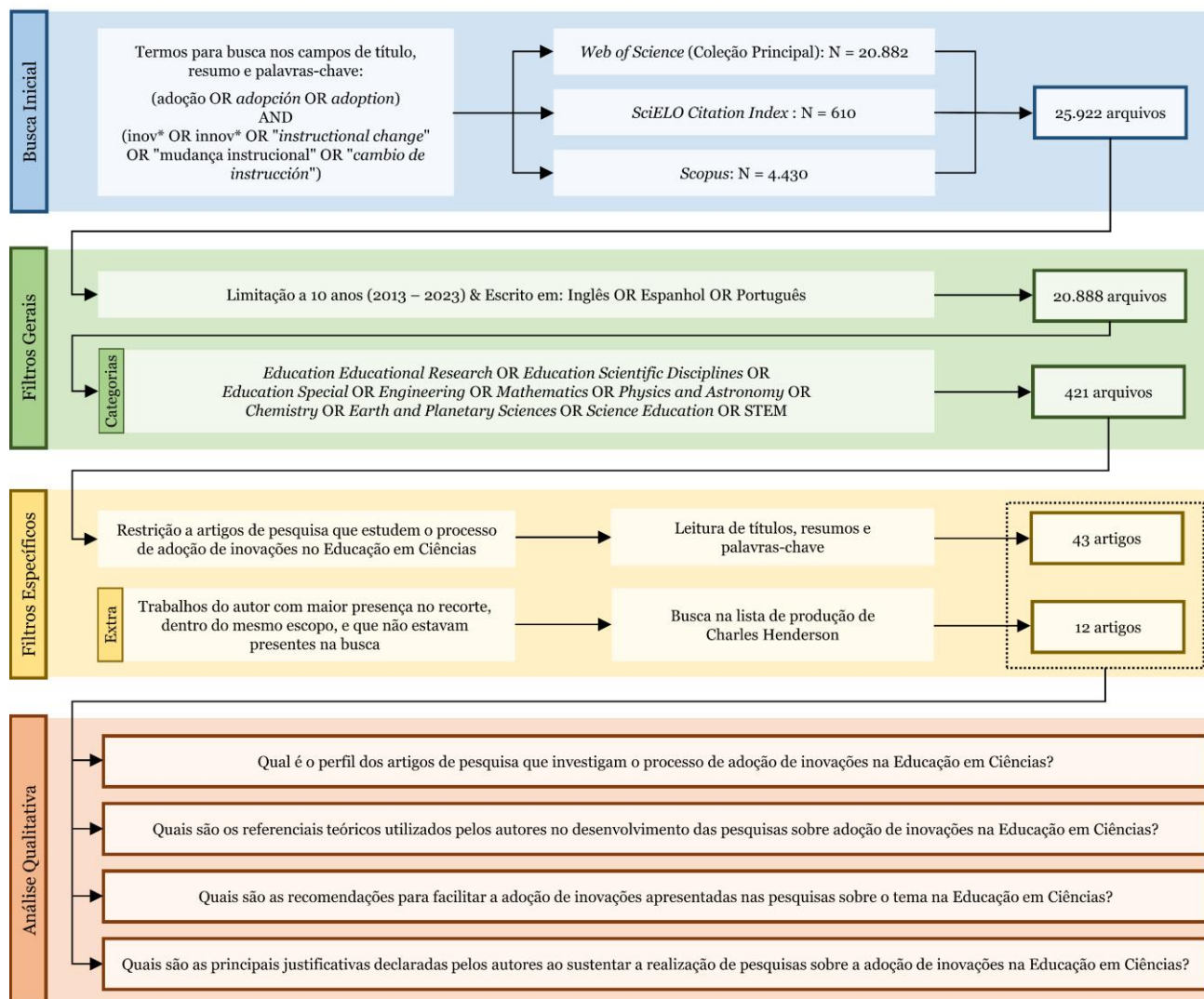


Figura 1. Etapas da revisão de literatura sobre o processo de adoção de inovações na Educação em Ciências.

Qual é o perfil dos artigos de pesquisa que investigam o processo de adoção de inovações na Educação em Ciências?

Para caracterizar o perfil dos artigos de pesquisa da amostra selecionada, organizamos os resultados nas seguintes categorias: i) contextos das investigações; ii) delineamentos metodológicos; iii) perfil da inovação; iv) tema central.

Contexto das investigações

Sobre as localidades de desenvolvimento (onde as investigações empíricas foram conduzidas ou, no caso dos estudos teóricos, os países dos autores), todos os trabalhos foram realizados em contexto internacional excetuando um realizado em contexto brasileiro. Segue uma lista dos países de origem dos trabalhos, o número de artigos em cada país e áreas de conhecimento:

- Estados Unidos (N = 36; *STEM*; *Ensino de Engenharia*; *Física*; *Astronomia*; *Biologia*; *Matemática*; *Química*); Colômbia (N = 3; *Ensino de Engenharia*; *Geociências*); Espanha (N = 3; *STEM*; *Não consta*); Austrália (N = 2; *Química*; *STEM*); Turquia (N = 2; *Química*; *STEM*); África do Sul (N = 1; *Matemática*); Brasil (N = 1; *Física*); Bulgária (N = 1; *STEM*); Canadá (N = 1; *Ensino de Engenharia*); Chile (N = 1; *Ensino de Engenharia*); China (N = 1; *STEM*); Grécia (N = 1; *STEM*); Israel (N = 1; *Química*); Itália, Polônia e Reino Unido (N = 1; *STEM*); Nepal (N = 1; *Matemática*); Portugal (N = 1; *Ensino de Engenharia*); Tanzânia (N = 1; *Ensino de Engenharia* e *STEM*).

Como se observa, as pesquisas contidas na amostra desta revisão se concentram, em sua maioria, na grande área de STEM e no Ensino de Engenharia, seguidas, em menor recorrência, por Física, Química, Matemática, Astronomia, Biologia, Geociências. Em um caso (García; Pérez; Martín-Lucas, 2021), não havia vínculo explícito a nenhuma dessas áreas, mas optamos por mantê-lo por apresentar resultados potencialmente relevantes com implicações para nossa análise.

Sobre o nível de ensino do contexto de investigações das pesquisas, há concentração primordialmente no ensino superior em cursos de graduação, tanto de bacharelado (em acordo com as áreas de conhecimento mais recorrentes) quanto de formação de professores (de modo transversal às áreas de conhecimento elencadas). Sobre os países de origem das pesquisas, todos os trabalhos, exceto um, foram realizados fora do Brasil, significativamente desenvolvidos nos Estados Unidos.

Delineamentos metodológicos

A respeito da natureza das investigações presentes na nossa amostra, há predomínio de investigações de caráter empírico, especialmente com desenvolvimento de estudos de caso, envolvendo no desenvolvimento e na análise o emprego de métodos: *qualitativos* (N = 31), assumindo como instrumentos de coleta questionários, entrevistas estruturadas e semiestruturadas, documentos (relatórios, planos de aula, exames avaliativos de alunos, caderno de campo) e observações em aula; *mistos* (N = 13), combinando materiais e fontes de informações como questionários, documentos, entrevistas, pré e pós-testes analisados de forma integrada por estatística descritiva e por interpretações textuais, e; *quantitativos* (N = 8), assumindo como fontes de informações questionários, pré e pós-testes e dados socioeconômicos, analisados essencialmente por estatística descritiva e análise fatorial e multivariada. Os instrumentos de coleta de dados mais utilizados foram questionários e entrevistas realizados com diferentes atores dos processos educacionais, como alunos, professores e chefes de departamentos de instituições de ensino.

Nos estudos teóricos, as pesquisas assumiram teorias, documentos e resultados da literatura para compreender a tomada de decisão no processo de inovação (McConnell et al., 2020), apresentaram o processo de desenvolvimento de um curso (Marquez et al., 2023), e exploraram uma ferramenta tecnológica (Koretsky & Magana, 2019).

Perfil da inovação

Destacamos também os entes assumidos como inovações, e os dividimos em quatro tipos:

- natureza pedagógica (N = 30): *metodologias e métodos ativos de ensino (generalistas, envolvendo diferentes métodos desse tipo)* (Andrews et al., 2020; Apkarian et al., 2021; Bathgate et al., 2019; Borrego et al., 2013; Carroll et al., 2023; Froyd et al., 2013; Goodwin et al., 2018; Henderson et al., 2018; Hilpert, 2016; Isaacs-Sodeye & Lande, 2013; Khatri et al., 2017; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; McConnell et al., 2020; Nadelson et al., 2016; Shi & Stains, 2021; Walter et al., 2021; Yik et al., 2022; Zich et al., 2020); *Peer Instruction* (Dancy et al., 2016; Petter et al., 2021; Turpen et al., 2016); *SCALE-UP (Student Centered Active Learning with Upside-down Pedagogies)* (Foote et al., 2014, 2016); *Inquiry-Based Learning* (Gilchrist et al., 2017; Vishnubhotla et al., 2022); *Project-Based Learning* (Brito et al., 2020); *atividades de laboratório centradas no aluno* (Candaş & Altun, 2023); *sala de aula invertida* (Idsardi et al., 2023); *desenvolvimento de projetos de pesquisa* (Hilpert, 2016; Quardokus & Henderson, 2018)); *aprendizagem baseada em equipes* (Sachmpazidi, Olmstead, et al., 2021);
- recursos tecnológicos (N = 13): *modelagem computacional/numérica* (Sachmpazidi, Bautista, et al., 2021); *plataforma digital* (Urban, 2017); *realidade virtual/aumentada* (Álvarez-Marín et al., 2023; Silva-Díaz et al., 2023); *Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs)* (Chizwina & Mhakure, 2018; Gabby et al., 2017; Joshi et al., 2023; Koretsky & Magana, 2019; Palacio-Jiménez et al., 2023; Terzieva et al., 2020); *inteligência artificial* (Marquez et al., 2023); *vídeos interativos* (Doğru et al., 2023); *plataforma de pesquisa* (Donovan & LaMar, 2023);
- ambientes de aprendizagem (N = 7): *ensino híbrido* (Borland et al., 2015; García et al., 2021; Lee et al., 2022; Pertuz et al., 2023); *comunidade de aprendizagem* (Nipyrakis et al., 2023; Riley et al., 2023; Zhu et al., 2019);
- currículo (N = 6): *programas disciplinares em cursos de ensino superior* (Gómez-Ríos et al., 2023; Taajamaa et al., 2018); *foco curricular em STEM na Educação Básica* (Dallavis, 2023); *cultura maker* (Tabarés & Boni, 2023); *laboratórios de Astronomia* (Stewart et al., 2014); *Ensino de Engenharia na Educação Básica* (Nadelson et al., 2016).

Assim como já evidenciado por revisões anteriores (Morad et al., 2021; Petter et al., 2025; Tavares, 2019), identificamos que também há no escopo desta revisão uma polissemia relacionada ao termo inovação. A maior parte das investigações toma como objeto de estudo diferentes métodos e metodologias ativas de ensino, a exemplo do *Peer Instruction*, *Problem-Based Learning*, *Project-Based Learning*, *Team-Based Learning*, sala de aula invertida, SCALE-UP, além de outras metodologias, estratégias e outros métodos¹ de ensino baseados em pesquisa. A maior presença dessas abordagens que propõem a formação de equipes, o trabalho colaborativo para proposição de projetos e solução de problemas baseados em

¹ Ao utilizarmos os termos “metodologia”, “estratégia” e “método”, no contexto de ensino, adotamos as classificações apresentadas por Alves e Bego (2020, p. 89-90).

situações reais se explica em parte diante da grande ocorrência de investigações centradas em áreas de Ensino de Engenharia em contexto norte-americano.

Na sequência, boa parte das demais pesquisas ficou concentrada em inovações de natureza tecnológica, explorando recursos como ferramentas digitais (laboratórios virtuais e softwares de simulação, por exemplo), TICs, ambientes de realidade virtual e inteligência artificial. Cabe destacar, entretanto, que a consideração de recursos técnicos e tecnológicos como inovações no ensino, embora represente uma modificação, não implica necessariamente em mudanças nas práticas de ensino efetivamente (Tavares, 2019). Isto é, novos recursos podem representar uma nova proposta didática, mas não isoladamente, posto que precisam estar acompanhados das atividades que permitem inseri-los nas práticas educacionais. Também foram consideradas como inovações abordagens como ensino híbrido, MOOCs (*Massive Open Online Courses*), e estratégias de modificação no âmbito curricular mais amplo como comunidades de aprendizagem e cultura *maker*.

Tema central

Como temas de investigação, pudemos identificar que há a presença de quatro grupos principais: *barreiras* (fatores que impediram ou dificultaram o uso da inovação analisada); *facilitadores* (fatores que apoiaram ou facilitaram o uso da inovação envolvida na análise); *implementação* (etapas e processos envolvidos no uso de inovações em determinados contextos) e; *impacto* (influência do uso de inovações em um dado contexto). Na Tabela 1, apresentamos correlações entre temas de investigação, áreas de conhecimento e nível de ensino.

Tabela 1. Distribuição dos trabalhos da amostra da revisão subdivididos em relação ao tema central, à área de conhecimento e ao nível de ensino (Ensino Superior - ES; Ensino Médio - EM; Ensino Fundamental - EF; ou Não Específico - NE).

Tema central	Área de conhecimento	Nível	Artigos
<i>Barreiras</i> (N = 33): Fatores que impedem ou dificultam o uso de inovações no ensino	STEM (N = 15)	ES	Apkarian et al. (2021); Bathgate et al. (2019); Foote et al. (2016); Froyd et al. (2013); Idsardi et al. (2023); Nipyrakis et al. (2023); Quardokus e Henderson (2018); Shi e Stains (2021); Taajamaa et al. (2018); Tabarés e Boni (2023); Walter et al. (2021); Zhu et al. (2019)
		EM	Gilchrist et al. (2017); Terzieva et al. (2020); Zhu et al. (2019)
		EF	Dallavis (2023); Zhu et al. (2019)
		NE	McConnell et al. (2020)
	Ensino de Engenharia (N = 8)	ES	Brito et al. (2020); Borrego et al. (2013); Carroll et al. (2023); Foote et al. (2014); Isaacs-Sodeye e Lande (2013); Marquez et al. (2023); Pertuz et al. (2023); Taajamaa et al. (2018)
	Matemática (N = 3)	ES	Chizwina e Mhakure (2018); Vishnubhotla et al. (2022)
		EM e EF	Joshi et al. (2023)
	Física (N = 2)	ES	Turpen et al. (2016)
		EM	Gilchrist et al. (2017)
	Astronomia (N = 2)	ES	Stewart et al. (2014)
		EM	Zich et al. (2020)
	Biologia (N = 2)	ES	Goodwin et al. (2018); Marbach-Ad e Rietschel (2016)
	Geociências	ES	Palacio-Jiménez et al. (2023)
	Química	ES	Candaş e Altun (2023)
	NE	ES	García et al. (2021)

Tema central	Área de conhecimento	Nível	Artigos
<i>Facilitadores</i> (N = 26): Fatores que apoiam ou facilitam o uso de inovações no ensino	STEM (N = 12)	ES	Andrews et al. (2020); Bathgate et al. (2019); Foote et al. (2016); Khatri et al. (2017); McConnell et al. (2020); Tabarés e Boni (2023); Walter et al. (2021); Zhu et al. (2019)
		EM	Gilchrist et al. (2017); Terzieva et al. (2020); Zhu et al. (2019)
		EF	Dallavis (2023); Zhu et al. (2019)
	Ensino de Engenharia (N = 4)	ES	Brito et al. (2020); Foote et al. (2014); Marquez et al. (2023); Pertuz et al. (2023)
	Física (N = 3)	ES	Turpen et al. (2016); Yik et al. (2022)
		EM	Gilchrist et al. (2017)
	Matemática (N = 4)	ES	Chizwina e Mhakure (2018); Vishnubhotla et al. (2022); Yik et al. (2022)
		EM e EF	Joshi et al. (2023)
	Química	ES	Yik et al. (2022)
	Astronomia	EM	Zich et al. (2019)
	Biologia	ES	Marbach-Ad e Rietschel (2016)
	Geociências	ES	Palacio-Jiménez et al. (2023)
	NE	ES	García et al. (2021)
<i>Implementação</i> (N = 24): Descrição de etapas e processos envolvidos no uso de inovações em determinados contextos	STEM (N = 11)	ES	Borland et al. (2015); Borrego et al. (2013); Donovan e LaMar (2023); Idsardi et al. (2023); Nipyrakis et al. (2023); Quardokus e Henderson (2018); Sachmpazidi, Olmstead, et al. (2021); Taajamaa et al. (2018)
		EM	Terzieva et al. (2020)
		EF	Dallavis (2023)
		NE	McConnell et al. (2020)
	Ensino de Engenharia (N = 6)	ES	Álvarez-Marín et al. (2023); Borrego et al. (2013); Foote et al. (2014); Lee et al. (2022); Taajamaa et al. (2018)
		EM e EF	Nadelson et al. (2016)
	Física (N = 2)	ES	Dancy et al. (2016); Petter et al. (2021)
	Biologia (N = 2)	ES	Goodwin et al. (2018); Marbach-Ad e Rietschel (2016)
	Geociências	ES	Palacio-Jiménez et al. (2023)
	Matemática (N = 2)	ES	Chizwina e Mhakure (2018)
		EM e EF	Joshi et al. (2023)
	Química	EM e EF	Gabby et al. (2017)
	NE	ES	García et al. (2021)
<i>Impacto</i> (N = 18): Análises da influência do uso de inovações em um dado contexto	STEM (N = 8)	ES	Doğru et al. (2023); Hilpert (2016); Idsardi et al. (2023); Nipyrakis et al. (2023); Silva-Díaz et al. (2023); Tabarés e Boni (2023); Zhu et al. (2019)
		EM	Terzieva et al. (2020); Zhu et al. (2019)
		EF	Zhu et al. (2019)
	Ensino de Engenharia (N = 5)	ES	Gómez-Ríos et al. (2023); Hilpert (2016); Koretsky e Magana (2019); Marquez et al. (2023); Riley et al. (2023)
	Física (N = 2)	ES	Henderson et al. (2018); Sachmpazidi, Bautista, et al. (2021)
	Astronomia (N = 2)	ES	Henderson et al. (2018)
		EM	Zich et al. (2020)
	Biologia	ES	Marbach-Ad e Rietschel (2016)
	Química (N = 2)	ES	Candaş e Altun (2023); Urban (2017)

Sobre a temática de barreiras, há convergência para três subgrupos principais, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Categorização dos tipos de barreiras descritas pelos trabalhos da amostra da revisão.

Subgrupo de barreiras	Tipo	Artigos
Fatores contextuais	Ausência de recursos materiais e de apoio institucional	Bathgate et al. (2019); Chizwina e Mhakure (2018); Dallavis (2023); Foote et al. (2016); Froyd et al. (2013); Gabby et al. (2017); Goodwin et al. (2018); Palacio-Jiménez et al. (2023); Pertuz et al. (2023); Stewart et al. (2014); Terzieva et al. (2020)
	Dificuldade engajar os alunos nas tarefas	Brito et al. (2020); Candaş e Altun (2023); Carroll et al. (2023); Isaacs-Sodeye e Lande (2013); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Turpen et al. (2016); Zich et al. (2020)
	Falta de tempo em sala de aula e para preparação de materiais	Bathgate et al. (2019); Chizwina e Mhakure (2018); Froyd et al. (2013); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Pertuz et al. (2023); Turpen et al. (2016)
	Preferência por atividades de ensino tradicionais na instituição	Apkarian et al. (2021); Foote et al. (2014, 2016); Froyd et al. (2013); McConnell et al. (2020); Tabarés e Boni (2023)
	Resistência dos alunos	Bathgate et al. (2019); Brito et al. (2020); Candaş e Altun (2023); Foote et al. (2016); Isaacs-Sodeye e Lande (2013)
	Organização física da sala de aula	Apkarian et al. (2021); Bathgate et al. (2019); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Turpen et al. (2016)
	Dificuldades de acesso à internet	Chizwina & Mhakure (2018); Joshi et al. (2023); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Zhu et al. (2019)
	Pressão por cumprimento curricular	Bathgate et al. (2019); Froyd et al. (2013); Taajamaa et al. (2018); Turpen et al. (2016)
	Rigidez curricular	Bathgate et al. (2019); Goodwin et al. (2018); Turpen et al. (2016)
	Avaliação dos estudantes sobre o ensino e tamanho da turma	Apkarian et al. (2021); Turpen et al. (2016)
	Conflito entre atividades de pesquisa e de ensino (em particular aos professores do ensino superior)	Apkarian et al. (2021); Goodwin et al. (2018)
	Falta de interesse dos alunos em Ciências	Zhu et al. (2019)
Fatores associados aos professores	Falta de competências em ferramentas digitais e tecnológicas e em metodologias e métodos ativos de ensino	Carroll et al. (2023); Chizwina e Mhakure (2018); Gabby et al. (2017); García et al. (2021); Idsardi et al. (2023); Joshi et al. (2023); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Nipyrakis et al. (2023); Shi e Stains (2021); Terzieva et al. (2020); Walter et al. (2021)
	Falta de confiança na inovação	Bathgate et al. (2019); Carroll et al. (2023); Chizwina e Mhakure (2018); Froyd et al. (2013); García et al. (2021); Isaacs-Sodeye e Lande (2013); Joshi et al. (2023); Marquez et al. (2023); Turpen et al. (2016)
	Dificuldade em preparar aulas e definir objetivos com uma nova abordagem	Bathgate et al. (2019); Brito et al. (2020); Gilchrist et al. (2017); Isaacs-Sodeye e Lande (2013); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Stewart et al. (2014)
	Preferência por atividades de ensino tradicionais na instituição	Chizwina e Mhakure (2018); Joshi et al. (2023); McConnell et al. (2020); Taajamaa et al. (2018); Vishnubhotla et al. (2022)
	Crenças sobre ensino e aprendizagem (frequentemente alinhadas a perspectivas transmissionistas baseadas em aulas predominantemente expositivas)	Carroll et al. (2023); Shi e Stains (2021); Taajamaa et al. (2018); Vishnubhotla et al. (2022)
	Percepção de que a instituição apenas aparenta valorizar o ensino	Bathgate et al. (2019); Goodwin et al. (2018)
	Processo de mudança é considerado intimidador	Bathgate et al. (2019); Carroll et al. (2023)
Fatores associados à inovação	Complexidade de uso	García et al. (2021); Gilchrist et al. (2017); Quardokus e Henderson (2018)
	Inovações com muitos itens individuais dificultam seu entendimento	Borrego et al. (2013)

A respeito de fatores que facilitam o uso de inovações, é possível identificar com destaque três subgrupos análogos, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Categorização dos tipos de facilitadores descritos pelos trabalhos da amostra da revisão.

Subgrupo de facilitadores	Tipo	Artigos
Fatores contextuais	Apoio institucional	Dallavis (2023); Foote et al. (2014, 2016); Joshi et al. (2023)
	Reconhecimento institucional do esforço para modificar as aulas	Bathgate et al. (2019); Brito et al. (2020); Foote et al. (2016); Tabarés e Boni (2023)
	Apoio de colegas	Bathgate et al. (2019); Foote et al. (2016); Joshi et al. (2023)
	Aceitação da inovação pelos alunos	Bathgate et al. (2019); Vishnubhotla et al. (2022)
	Disponibilidade de recursos tecnológicos e digitais	Tabarés e Boni (2023); Terzieva et al. (2020)
Fatores associados aos professores	Busca por mais informações sobre a inovação	Foote et al. (2014, 2016); García et al. (2021); Joshi et al. (2023); McConnell et al. (2020)
	Interação com outros professores experientes no uso de inovações	Bathgate et al. (2019); Foote et al. (2014, 2016); McConnell et al. (2020); Walter et al. (2021)
	Insatisfação com a aprendizagem dos alunos	Gilchrist et al. (2017); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Yik et al. (2022); Zhu et al. (2019)
	Insatisfação com aulas expositivas	Gilchrist et al. (2017); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Vishnubhotla et al. (2022); Zhu et al. (2019)
	Percepção de possibilidade de cumprir o currículo com novas abordagens	Bathgate et al. (2019); Zhu et al. (2019)
	Sensação de maior conforto em um ambiente mais interativo	Bathgate et al. (2019); Brito et al. (2020)
	Mais interação com os alunos	Bathgate et al. (2019)
	Participação em pesquisas, cursos e eventos	Yik et al. (2022)
Fatores associados à inovação	Promover maior engajamento e participação dos alunos	Andrews et al. (2020); Bathgate et al. (2019); Chizwina e Mhakure (2018); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Palacio-Jiménez et al. (2023); Pertuz et al. (2023); Turpen et al. (2016); Zich et al. (2020)
	Evidência de efetividade	Andrews et al. (2020); Khatri et al. (2017); Turpen et al. (2016)
	Não é somente aula expositiva	Chizwina e Mhakure (2018); Marbach-Ad e Rietschel (2016); Turpen et al. (2016)
	Avaliação das aulas pelos alunos se torna mais positiva	Andrews et al. (2020); Khatri et al. (2017); Marquez et al. (2023)
	Métodos ativos de ensino liberaram mais tempo para atividades em aula	Pertuz et al. (2023); Turpen et al. (2016)
	Inovações que requeiram menos mudanças (inovações de caráter tecnológico apresentam maior propensão ao uso em relação a mudanças no conteúdo e na pedagogia)	Chizwina e Mhakure (2018)

Uma comparação entre barreiras e facilitadores identificados na amostra revela um espelhamento assimétrico: de um lado, apoio institucional, interações com docentes experientes e busca ativa de informações sobre inovações funcionam como contrapesos a lacunas de competência e insegurança; de outro, pressões curriculares, restrições de tempo e de espaço em sala de aula são dificuldades que não se resolvem por formação isolada, exigindo modificações organizacionais. Além disso, nota-se que as referências sobre barreiras e facilitadores se repetem bastante, porque se mostrou habitual nesta amostra que sejam investigados os dois tipos de fatores em um mesmo estudo, o que pode sugerir que a adoção se trata de um processo dinâmico de compensações, no qual decisões institucionais,

competências docentes e atributos da inovação ajustam-se mutuamente ao longo do tempo, podendo explicar por que os mesmos fatores reaparecem em combinação. A adoção bem-sucedida de inovações nesse contexto parece depender de uma abordagem sistêmica que combine empenho institucional, apoio contínuo e desenvolvimento das competências docentes. Fatores contextuais, características pessoais e profissionais dos professores e os próprios atributos das inovações mostram-se essenciais para promover um ambiente propício à implementação de novos recursos, ampliando as chances de mudanças efetivas no ensino.

Comparando com o perfil das inovações presentes na amostra, há um padrão consistente: quando predominam metodologias e métodos ativos, incidem sobre a adoção barreiras contextuais estruturais que se somam a exigências docentes de planejamento e a crenças pedagógicas mais próximas de aulas expositivas. Nessas condições, a complexidade e o caráter multicomponente das propostas ampliam o risco de adaptações que podem descaracterizar princípios essenciais da inovação, especialmente se são ausentes diretrizes claras do que precisa ser preservado. Em contraste, inovações tecnológicas tendem a apresentar maior propensão ao uso quando a infraestrutura básica está disponível e uma correspondente mudança nas práticas pedagógicas é menor.

Em relação à categoria de implementação, observamos que os trabalhos buscaram, em geral, identificar se uma inovação foi utilizada de forma próxima ou distante das propostas originais. Parte significativa das adaptações ocorreu, segundo autorrelato dos professores que implementaram as inovações, em função de dúvidas de alunos durante o uso da inovação em sala de aula; por pressão para cumprimento do currículo; expectativas de pais e da instituição de ensino para preparação para exames de seleção ao ensino superior; de crenças dos professores; de conhecimentos superficiais sobre a inovação por parte dos professores (Álvarez-Marín et al., 2023; Borrego et al., 2013; Dancy et al., 2016; Foote et al., 2014; Gabby et al., 2017; García et al., 2021; Goodwin et al., 2018; Idsardi et al., 2023; Lee et al., 2022; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; Nadelson et al., 2016; Petter et al., 2021; Quardokus & Henderson, 2018; Riley et al., 2023). No caso de inovações como metodologias e métodos ativos de ensino, são frequentes os relatos de professores que as utilizam mantendo poucos de seus pontos essenciais (Borrego et al., 2013; Dancy et al., 2016; Petter et al., 2021; Turpen et al., 2016; Yik et al., 2022).

Em uma perspectiva mais ampla de adaptações, Palacio-Jiménez et al. (2023) e Joshi et al. (2023) indicam que a pandemia de Covid-19 demandou estratégias de adequação do setor educacional, o que forçou uma migração rápida para alternativas de ensino em combinação com a adoção de TICs; quando retomadas as atividades presenciais, muitos professores acabaram retornando às abordagens anteriores de ensino, no modelo tradicional transmissionista, sem uso dos recursos tecnológicos utilizados no período pandêmico.

A fidelidade de implementação de inovações foi identificada como fortemente influenciada pelo número de componentes cruciais que dão sustentação à nova proposta, associada também à clareza dos elementos constituintes e da sua aplicação; isto é, inovações com menos componentes essenciais foram utilizadas com poucas modificações, e inovações com muitos

componentes essenciais sofreram muitas modificações (Borrego et al., 2013; García et al., 2021; Goodwin et al., 2018; Nadelson et al., 2016; Petter et al., 2021).

Nesse recorte, é importante destacar que com frequência são necessárias mudanças na forma de uma inovação para que ela possa ser utilizada em um novo contexto. O ponto é que isso deve ser feito com atenção aos princípios que sustentam uma nova proposta (particularmente importante quando a inovação em questão se trata de uma metodologia ou um método de ensino), a fim de evitar distorções nos princípios pedagógicos fundamentais para bons resultados na prática docente (Dancy et al., 2016; Foote et al., 2014, 2016; Petter et al., 2021; Turpen et al., 2016; Vishnubhotla et al., 2022). Terzieva et al. (2020) destaca que o uso de tecnologias foi identificado para atividades de ensino, desenvolvimento e aplicação de exercícios e aulas extracurriculares, apontando também que esses recursos operaram como facilitadores do uso de métodos ativos de ensino que envolvessem a elaboração de projetos e resolução de problemas. Isto é, mudanças nas inovações podem ter um caráter positivo e contributivo à própria inovação quando são realizadas a fim de promover sua inserção em um contexto específico, mas podem ser negativas se resultarem em descaracterização da proposta original, não sendo possível alcançar os resultados com ela inicialmente esperados.

As atividades preparatórias para o uso de uma inovação envolveram oficinas de orientação voltadas ao desenvolvimento de proposta; reuniões e formações de equipes destinadas ao compartilhamento de dúvidas e ideias; além da utilização de estratégias de avaliação contínua para garantir o alinhamento com as novas abordagens de ensino (Borland et al., 2015; Joshi et al., 2023; Nipyrakis et al., 2023; Sachmpazidi, Olmstead, et al., 2021; Taajamaa et al., 2018). Por outro lado, o abandono de inovações esteve associado a situações em que a compreensão da nova abordagem ou a operação de um novo recurso se mostraram desafiadoras, ou ainda quando tais propostas foram consideradas inferiores às práticas em voga (Chizwina & Mhakure, 2018; García et al., 2021; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; McConnell et al., 2020; Petter et al., 2021).

Os estudos que se empenharam em investigar o impacto de inovações buscaram, primordialmente, entender em que medida novas propostas auxiliaram na promoção de aprendizagem. Em um amplo espectro, os autores apontam que, tanto na educação básica quanto na superior – na formação de professores e nos cursos de bacharelado – abordagens ativas centradas nos alunos promovem engajamento afetivo, comportamental e de trabalho colaborativo, fomentando a construção de habilidades de pensamento crítico e de independência na aprendizagem (Candaş & Altun, 2023; Henderson et al., 2018; Hilpert, 2016; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; Urban, 2017; Zich et al., 2020); que abordagens ativas permitem cobrir conteúdos com maior profundidade, mesmo que em número reduzido de tópicos em relação às práticas anteriores (Candaş & Altun, 2023; Gómez-Ríos et al., 2023; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; Zich et al., 2020); e que o uso adequado de recursos tecnológicos e digitais possibilitou a construção de atitudes positivas em relação à tecnologia, contribuindo para as aprendizagens esperadas e tornando o ensino mais atrativo (Doğru et al., 2023; Henderson et al., 2018; Marquez et al., 2023; Riley et al., 2023; Sachmpazidi, Bautista, et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2023; Terzieva et al., 2020; Urban, 2017). Além disso, os pesquisadores relataram que a aceitação das novas propostas pedagógicas e tecnológicas

contribuiu para a promoção das aprendizagens esperadas (Henderson et al., 2018; Nipyrakis et al., 2023; Sachmpazidi, Bautista, et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2023; Tabarés & Boni, 2023; Zhu et al., 2019).

Em geral, nas investigações na temática impacto – mas particularmente indicado por Idsardi et al. (2023) e Koretsky e Magana (2019) –, observa-se que a adoção de inovações nem sempre traz benefícios imediatos em taxas de aprovação ou de notas, quando comparada aos cursos tradicionais. Especialmente nas experiências com abordagens centradas nos alunos, as notas em exames foram mais representativas do desempenho geral dos alunos, o que sugere que as preocupações sobre a inflação das notas em cursos com aprendizagem ativa podem ser infundadas. E há um destaque fundamental: a eficácia de uma inovação varia com base na forma em que é implementada pelos responsáveis (geralmente, os professores), intimamente relacionada ao contexto em que está inserida.

Quais são os referenciais teóricos utilizados pelos autores no desenvolvimento das pesquisas sobre adoção de inovações na Educação em Ciências?

A expressiva maioria dos estudos (N = 37) não menciona o uso de referencial associado a inovações ou adoção de inovações para desenvolvimento das pesquisas. Daqueles que empregam algum tipo de referencial dessa natureza: dez usaram a *Teoria de Difusão de Inovações* (TDI) (Chizwina & Mhakure, 2018; Dancy et al., 2016; Gilchrist et al., 2017; Goodwin et al., 2018; Idsardi et al., 2023; Joshi et al., 2023; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; McConnell et al., 2020; Petter et al., 2021; Turpen et al., 2016); dois usaram o *Technology Acceptance Model* (TAM; Modelo de Aceitação Tecnológica) (Álvarez-Marín et al., 2023; Palacio-Jiménez et al., 2023); dois usaram o *Concerns-Based Adoption Model* (CBAM; Modelo de Adoção Baseado em Preocupações) (Gabby et al., 2017; Isaacs-Sodeye & Lande, 2013); dois usaram o *modelo do Processo de Liderança* (Foote et al., 2016; Quardokus & Henderson, 2018); um usou a teoria de *Fidelidade de Implementação* (Borrego et al., 2013), e; um usou os modelos *Change, Adopters, Change Agents, Organization* (CACAO; Mudança, Adotantes, Agentes de Mudança, Organização) e *Teacher-Centered Systemic Reform* (TCSR; *Reforma Sistêmica Centrada nos Professores*) (Yik et al., 2022).

A Teoria da Difusão de Inovações (TDI) de Everett Rogers (2003), uma referência na compreensão de como e por que novas ideias, produtos e práticas se espalham em uma sociedade (Mazzarol & Reboud, 2020), estrutura o processo de decisão pela adoção de inovações em fases e destaca o papel essencial dos canais de comunicação e dos atributos específicos de uma inovação. No processo de decisão pela inovação são delineadas cinco etapas-chave (Rogers, 2003): *conhecimento* (quando o indivíduo ou grupo toma contato inicial com a inovação e forma uma primeira compreensão sobre ela); *persuasão* (formação de uma atitude favorável ou não à inovação, na medida em que são avaliados os potenciais benefícios e desafios); *decisão* (um ponto crítico em que o indivíduo decide por adotar ou rejeitar a inovação); *implementação* (envolve o uso inicial da inovação e, com isso, as primeiras adaptações ao contexto) e; *confirmação* (indivíduo ou grupo consolida a decisão,

buscando reforço para o uso continuado ou abandono da inovação). Nesse processo, a busca e troca de informações sobre uma inovação pode ser obtida através de canais de comunicação, podendo ser canais de mídia em massa, como treinamentos e campanhas informativas, e canais interpessoais, como conversas com pessoas próximas. Além disso, a decisão pela adoção está relacionada a cinco atributos percebidos de uma inovação (Rogers, 2003): *vantagem relativa* (quanto a inovação é percebida como superior aos recursos e práticas prévios); *compatibilidade* (grau em que a inovação se alinha a valores, experiências e necessidades dos adotantes); *complexidade* (dificuldade de compreensão e implementação da inovação); *testabilidade* (possibilidade de testar a inovação em pequena escala antes de uma adoção por completo) e; *observabilidade* (visibilidade dos resultados da inovação para os outros ainda não usuários).

Na nossa amostra, as investigações utilizaram a TDI principalmente para, a partir do modelo de decisão pela inovação, entender os tipos de variáveis importantes na formação de percepções e seu impacto na decisão de usar metodologias e métodos ativos de ensino (Gilchrist et al., 2017; Goodwin et al., 2018; Idsardi et al., 2023; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; Petter et al., 2021; Turpen et al., 2016) e recursos digitais e tecnológicos (Joshi et al., 2023). Nos demais casos, o processo de decisão pela inovação foi utilizado para orientar discussões sobre o aprendizado das propriedades e da estrutura do método ativo *Peer Instruction*, visando ao seu uso (Dancy et al., 2016), bem como para aprofundar reflexões sobre a tomada de decisão no processo de inovação a partir de resultados da literatura (McConnell et al., 2020). Ainda, um estudo utilizou concepções relativas aos atributos da inovação e dos canais de comunicação para entender fatores específicos que influenciam a adoção de recursos tecnológicos (Chizwina & Mhakure, 2018).

O TAM é um modelo para examinar a aceitação de recursos tecnológicos com base nas variáveis de *utilidade percebida*, *facilidade de uso percebida*, *atitude em relação ao uso* e *intenção de uso* (Álvarez-Marín et al., 2023; Palacio-Jiménez et al., 2023). Esse modelo auxilia na análise da adoção de ferramentas digitais em contextos educacionais, considerando fatores que influenciam decisões favoráveis ao uso. Palacio-Jiménez et al. (2023) incorporam variáveis externas, como preparação de professores e estudantes, autoeficácia, autonomia na aprendizagem e inovação pessoal, ampliando a compreensão da aceitação tecnológica. Estudos na Colômbia e no Chile evidenciam que a aceitação está fortemente ligada às atitudes dos alunos e às suas percepções do ambiente acadêmico (Álvarez-Marín et al., 2023; Palacio-Jiménez et al., 2023).

O CBAM enfatiza que a implementação de mudanças educacionais depende das preocupações dos professores, desde dúvidas iniciais sobre o valor da inovação até questões práticas e de impacto nos alunos (Gabby et al., 2017; Isaacs-Sodeye & Lande, 2013). O modelo organiza a adoção em sete estágios: *conscientização*, *busca por informações*, *preocupações sociais*, *gerenciamento de recursos*, *impacto nos alunos*, *colaboração entre colegas* e *refocalização da inovação*. Os estudos da amostra usaram o CBAM para elaborar categorias de preocupação identificadas em uma investigação sobre adoção de uma estratégia ativa de ensino (Isaacs-Sodeye & Lande, 2013), e como ferramenta de diagnóstico para examinar as

preocupações de professores de química na adoção de um novo ambiente de aprendizagem (Gabby et al., 2017).

A abordagem do Processo de Liderança organiza a implementação de mudanças em oito estágios sequenciais, focando na criação de uma *visão*, *motivação* de participantes, *geração de impulso* e *institucionalização* da mudança (Foote et al., 2016; Quardokus & Henderson, 2018). Os três primeiros estágios preparam a organização ao estabelecer a urgência, formar uma coalizão e definir a visão clara para direcionar esforços. Em seguida, a *comunicação da visão*, a *remoção de barreiras* e a *obtenção de vitórias a curto prazo* mobilizam os participantes, expandindo o impacto. Por fim, a institucionalização *consolida novas práticas* na cultura organizacional, garantindo a sustentabilidade das mudanças. Em nossa amostra, o modelo foi usado para analisar mudanças no SCALE-UP (Foote et al., 2016), e foi aplicado para promover mudanças em departamentos educacionais, demonstrando como os agentes de mudança podem utilizar esse modelo para cumprir quatro objetivos principais de mudança (criar visão, motivar participantes, construir impulso e institucionalizar mudanças) (Quardokus & Henderson, 2018).

A teoria de Fidelidade de Implementação avalia o quanto uma intervenção é aplicada conforme planejada, identificando componentes críticos essenciais para que a nova proposta alcance seus objetivos, permitindo avaliar se esses componentes são mantidos ou alterados durante a aplicação (Borrego et al., 2013). Esses componentes podem ser definidos por meio de revisões de literatura, observações, entrevistas com usuários e opiniões de especialistas (Borrego et al., 2013). A teoria equilibra a integridade da intervenção com a flexibilidade necessária para adaptações contextuais, permitindo compreender o impacto das adaptações enquanto se promove uma aplicação eficaz. Em nossa amostra, Borrego et al. (2013) analisaram metodologias, métodos, estratégias e técnicas ativas de ensino, integrando estudos anteriores e aplicando questionários a professores de STEM, triangulando os dados com as proposições da teoria.

O modelo TCSR concentra-se nas mudanças nas práticas pedagógicas dos professores, abordando fatores *contextuais* (tipo de instituição, disciplina e tamanho das turmas), *pessoais* (preparação e desenvolvimento docente) e *pensamento do professor* (conhecimento pedagógico e insatisfação com práticas vigentes) (Yik et al., 2022). O modelo CACAO estrutura a mudança em quatro dimensões (Yik et al., 2022): a inovação a ser adotada, professores que implementarão as práticas, agentes de mudança (administradores, formuladores de políticas) e o ambiente institucional que influencia a implementação (Yik et al., 2022). Ambos os modelos foram usados por Yik et al. (2022) para analisar as barreiras e os facilitadores das metodologias, estratégias e métodos investigados, integrando fatores individuais e institucionais na adoção de mudanças educacionais.

Em panorama, os dados da amostra indicam um campo ainda pouco teoricamente amparado naquilo que distingue “adoção de inovação” de outras categorias possivelmente próximas, como uso, implementação e aceitação. Em alguma medida, isso pode produzir certa heterogeneidade operacional, em que adoção possa ser assumida como intenção de uso, uso inicial ou institucionalização, dificultando comparar resultados e enfraquecendo inferências causais entre barreiras e facilitadores com os processos de mudança. Nesse âmbito, há riscos

associados à validade de estudos com essa indefinição, abrindo margem a construções pouco delimitadas e a confusões entre elementos que influenciam a adoção de uma inovação.

Nas pesquisas que recorreram a referenciais teóricos para fundamentação de suas investigações foi possível identificar três níveis distintos em que os marcos teóricos guiaram o desenvolvimento dos estudos, sendo eles:

- nível individual: TDI, TAM e CBAM foram utilizados para identificar e interpretar percepções, decisões e preocupações dos adotantes, incluindo como variáveis analíticas, por exemplo, atributos percebidos da inovação, utilidade/facilidade de uso da inovação e atitudes. O uso predominante da TDI como uma matriz de variáveis e do TAM como fonte de elementos preditivos indica, nos estudos da amostra, certa ênfase em determinantes psicossociais da adoção, sobretudo quando a inovação em questão é tecnologia digital. No caso do CBAM, o modelo foi operacionalizado como uma ferramenta diagnóstica das preocupações do professor ao longo do processo de inovação permitindo identificação de obstáculos práticos e afetivos em tempo real;
- nível organizacional: Processo de Liderança e TCSR foram utilizados para investigar mudanças departamentais e institucionais, permitindo explicitar condições para mobilização, sustentação e incorporação às atividades institucionais;
- nível de implementação: Fidelidade de Implementação foi utilizada para deslocar a lente analítica para a integridade/adaptação de componentes críticos da inovação, possibilitando analisar se (e como) a inovação efetivamente chega em sala de aula.

Essa estratificação revela coerência pragmática em relação aos seus fenômenos-alvo: se fosse atitude/intenção, usou-se TDI e/ou TAM; se fosse apoio ao professor, CBAM para dar atenção especial às preocupações; quando era mudança organizacional, Processo de Liderança ou TCSR; se fosse qualidade de execução, Fidelidade de Implementação. Em contrapartida, persiste uma lacuna de integração, sem articulações entre níveis individuais, organizacionais e de implementação. Uma possível consequência é que explicações permaneçam parciais e pouco sensíveis ao contexto, sobretudo se a inovação for de natureza pedagógica ou curricular.

Quais são as recomendações para facilitar a adoção de inovações apresentadas nas pesquisas sobre o tema na Educação em Ciências?

Para compreender o que os autores das pesquisas apontam como condições com potencial para facilitar a adoção de inovações, extraímos informações contidas ao longo dos textos dos artigos. Nesse processo, alguns trabalhos apresentavam explicitamente que alguma consideração se tratava de uma recomendação, e em outros conseguimos extrair afirmações que aparentavam um caráter sugestivo nesse sentido. Em nossa amostra, apenas em menos da metade dos trabalhos (N = 24) foi possível identificar recomendações no âmbito delimitado. Agrupamos as recomendações de acordo com a sua natureza (institucional, profissional ao professor ou a pesquisadores em Ensino e Educação) e seu tipo: *técnica* (aspectos práticos e estruturais que facilitam a aplicação de mudanças no ambiente de ensino); *instrumental* (desenvolvimento de ações apoiadas por recursos); *para formação*

(apoio à preparação dos professores para uso de novas propostas); *análise* (aspectos a serem considerados pelos pesquisadores no desenvolvimento de investigações sobre adoção de inovações); e *incentivo* (ações a serem desenvolvidas pelos pesquisadores – além da pesquisa em si – para contribuir com a adoção de inovações). Na Tabela 4 apresentamos a classificação dessas recomendações.

Tabela 4. Recomendação dos autores dos trabalhos da amostra para facilitar a adoção de inovações.

Natureza	Tipo	Recomendações
Institucional	Técnica	• Reduzir o tamanho das turmas pode permitir maior uso de abordagens ativas de ensino; • Fornecer ou reorganizar espaços que permitam o uso de abordagens ativas de ensino; • Incluir disponibilidade de recursos técnicos e diretrizes para facilitar o uso de tecnologias e recursos digitais no desenvolvimento de políticas públicas; • Envolver alunos em atividades institucionais do processo de inovação, fazendo com que se sintam motivados por fazerem parte da mudança.
	Instrumental	• Auxiliar os professores na seleção e implementação de novas abordagens para adequá-las ao tamanho da turma e objetivos; • Criar redes de apoio docente robustas e experiências de oficinas para guiar professores na escolha de novas abordagens; • Prover materiais necessários à implementação das novas propostas.
	Formação	• Fornecer subsídios externos e instrucionais para o desenvolvimento profissional que permita usar novas abordagens e de novas tecnologias; • Apoiar, incentivar e recompensar a participação de professores em oficinas de ensino.
Profissional ao professor	Técnica	• Investir no convencimento dos alunos (e de outros colegas professores) sobre os valores e potenciais benefícios de abordagens ativas de ensino; • Buscar informações sobre implementação e princípios subjacentes da pesquisa educacional para tomar decisões informadas e adaptações em seu próprio ensino; • Participar ativamente na definição de objetivos claros, gerenciamento e planejamento do tempo das novas atividades, minimizando desorientações; • Delimitar claramente o que é importante que os alunos façam nas novas atividades; • Envolver alunos em atividades institucionais do processo de inovação, fazendo com que se sintam motivados por fazerem parte da mudança.
	Instrumental	• Identificar e desenvolver conexões com recursos acadêmicos; • Acessar recursos de ensino on-line, tornando-se parte de uma comunidade virtual de prática que pode cruzar fronteiras institucionais; • Formar grupos de pesquisa para compartilhamento de experiências, conhecimentos e estratégias.
Pesquisadores	Análise	• Não presumir as disposições dos professores em aceitar/rejeitar inovações, aprendendo sobre experiências anteriores dos docentes; • Reconhecer a natureza social do processo de mudança, interpretando interações como vetores para redução em lacunas de comunicação sobre inovações; • Identificar novas atividades específicas que funcionaram em outros contextos para motivar professores a usá-las também; • Desenvolver pesquisas para identificar características que permitam distinguir entre ferramentas ineficazes e má implementação.
	Incentivo	• Ajudar a reconhecer barreiras estruturais e propor maneiras de superá-las; • Apoiar períodos de teste de inovações para que professores superem dificuldades relativas à complexidade na implementação; • Trabalhar para aumentar a importância do ensino nas avaliações de desempenho e reduzir a importância das avaliações dos estudantes sobre o ensino na avaliação geral da instrução; • Fornecer suporte a longo prazo para auxiliar nas modificações necessárias na inovação; • Projetar oficinas que forneçam treinamento e recursos para implementar novas abordagens; • Envolver os professores em pesquisas sobre ensino e aprendizagem; • Descobrir quais argumentos ressoam entre professores e administradores de instituições de ensino para elaborar argumentos que convençam sobre vantagens da inovação; • Incluir na comunicação para convencimento, além de evidências de eficácia, detalhes sobre implementação e princípios, evitando adaptações inadequadas; • Criadores de novas abordagens devem destacar os seus componentes críticos para descrição completa de sua proposta.

Dentre as recomendações encontradas, o grupo de natureza institucional foi o que apresentou maior volume de trabalhos ($N = 16$). Esse também foi o conjunto de sugestões com maior convergência entre os estudos. O tipo de recomendação “formação” concentrou o maior número de trabalhos únicos ($N = 10$) e apresentou o menor número de recomendações ($n = 2$). Essa convergência, somada a outras recomendações em nível institucional, é explicada pelos argumentos dos autores que, em geral, apontam que professores precisam de diferentes tipos de apoio para entender e implementar uma inovação, tirando proveito significativo de suas características e potencialidades. Destaca-se ainda uma concordância mais ampla quanto à necessidade de treinamento contínuo para professores em tecnologias emergentes. Esse treinamento facilitaria a integração das inovações às atividades práticas educacionais. Tal demanda pode ser suprida por programas educacionais que forneçam uma formação básica, com ênfase prática, destinada ao conhecimento e à integração de tecnologias no trabalho docente.

Na esfera de recomendações aos professores em nível profissional, tanto as de tipo técnico quanto instrumental, as sugestões dos autores são direcionadas a reorganizações da atividade didática e de preparação às aulas. Em particular, os autores indicam que há a necessidade de os professores se envolverem ativamente em atividades de busca e conhecimento de novas estratégias para enfrentar os problemas por eles identificados, facilitando, também, as modificações necessárias a uma nova abordagem (Bathgate et al., 2019; Borrego et al., 2013; Brito et al., 2020; Gómez-Ríos et al., 2023; Zhu et al., 2019).

As recomendações relativas a pesquisadores representam o conjunto de maior número de recomendações ($n = 13$), e também o tipo de sugestão mais diverso, em que os autores focaram em proposições ($n = 9$) para incentivar o estabelecimento de pontes entre academia e sala de aula. É evidente o consenso entre os autores de que é importante ter mais pesquisas sobre como a mudança acontece de forma direcionada ao campo da Educação, cabendo desenvolver pesquisas para identificar características que permitam distinguir entre ferramentas ineficazes e má implementação. Nesse recorte, é possível observar que ainda permanece a afirmação de Dancy et al. (2016) de que a pesquisa sobre como criar mudanças impactantes e sustentadas ainda está em seus estágios iniciais e há muitas oportunidades para usar a pesquisa para informar a prática.

Esse panorama de recomendações identificado apresenta fragilidade se visto como um cardápio de ações isoladas e desconexas, onde a ênfase recorrente em formação pode sugerir um viés centrado em treinamento, somente. Por outro lado, essa ampla e variada lista pode ganhar força se interpretada sob uma perspectiva integrada de elementos de trajetórias de implementação que buscam, por exemplo, compreender como: decisões institucionais influenciam e criam condições de tempo, espaços e recursos; apoios instrumentais podem converter essas condições em capacidade de ação; momentos de teste da inovação, *feedback* e acompanhamento continuado operam como dispositivos de aprendizagem organizacional, capazes de reduzir a complexidade inicial e evitar simplificações que descaracterizam as inovações; explicitar componentes críticos e dos detalhes de implementação, permitindo orientar adaptações responsáveis; a participação estudantil atua como um vetor de compromisso com a inovação e ajuste fino de rotas e rotinas.

Operacionalmente, uma forma de reapresentar essas proposições é explicitar, para cada recomendação, quem faz o quê, em que fase e com quais resultados esperados. Desse modo, as recomendações deixariam de ser declarações de caráter por vezes excessivamente genérico e se tornariam trilhas auditáveis de mudança. Isso vai ao encontro da constatação de Fullan (2009) de que a implementação de inovações exige tanto processos de cima para baixo (i.e., do nível da administração institucional para a sala de aula) quanto de baixo para cima (i.e., do nível da sala de aula para a administração institucional). Para esse autor, os principais dilemas da reforma em grande escala refletem o “problema do rígido demais/frouxo demais”. Reformas de cima para baixo falham em gerar apropriação e compromisso, enquanto mudanças de baixo para cima não alcançam resultados sustentáveis. As estratégias eficazes, portanto, deveriam unir forças de ambos os lados, promovendo uma ação coordenada e equilibrada para impulsionar a mudança, a exemplo do que está presente no amplo conjunto de recomendações indicadas pelos autores presentes na amostra desta revisão.

Uma leitura crítica das recomendações dessa amostra indica a existência de um núcleo generalista transferível para outras áreas da Educação, como a criação de condições institucionais, oferta de apoios instrumentais e investimentos em desenvolvimento profissional. Tais elementos apresentam-se como princípios de gestão de mudança educacional e não são exclusivas da Educação em Ciências, como ilustram, por exemplo, as recomendações para reorganizar salas de aula, prover materiais e construir redes e oficinas para apoiar a escolha e o uso de inovações.

Não obstante, a consonância dessas recomendações com a Educação em Ciências pode se calibrar com esse núcleo generalista ao compará-las com as características das inovações da amostra, onde prevaleceram metodologias e métodos ativos e recursos tecnológicos (o que pode não se replicar em outras áreas, necessariamente). No primeiro caso, a adoção demanda rotinas de planejamento sobre objetivos, gestão de tempo de aula e definição de tarefas discentes, e também de clareza sobre o que é essencial na proposta, exatamente o tipo de orientação presente nas recomendações dirigidas ao professor. No segundo caso, embora disponibilidade técnica e capacitação profissional favoreçam o uso, há um alerta de que tecnologia sozinha não altera práticas, sendo necessário envolvê-la em atividades didático-pedagógicas que lhe deem sentido (Percheron et al., 2025; Tavares, 2019). As mesmas categorias de recomendação tornam-se distintivas no campo ao enfatizarem arranjos que viabilizam metodologias, estratégias e métodos ativos em vez de apenas disponibilizarem recursos.

Interpondo com as informações obtidas sobre barreiras e facilitadores, essa diferenciação fica destacada: a adoção bem-sucedida depende de combinar esforço institucional, suporte contínuo e competências docentes, e tende a ocorrer com maior probabilidade quando a inovação requer menos adaptações em componentes pedagógicas (caso típico de recursos tecnológicos); ao passo que mudanças metodológicas profundas, comuns na Educação em Ciências (conforme demonstrado na resposta à primeira questão de pesquisa desta revisão), exigem suportes de maior duração, comunicação de componentes críticos e detalhes de uso e implementação.

Pesam também facilitadores como evidência de efetividade e engajamento estudantil, o que indica a utilidade de recomendações que sugerem, além de resultados, descrições operacionais que permitam replicação responsável. Essas conexões podem aproximar recomendações e achados empíricos, reduzindo desalinhamentos e favorecendo adoções continuadas de inovações na Educação em Ciências, sem perder a utilidade para outros campos.

Quais são as principais justificativas declaradas pelos autores ao sustentar a realização de pesquisas sobre adoção de inovações na Educação em Ciências?

Entendemos que o mapeamento das justificativas para o desenvolvimento dos trabalhos pode contribuir com a adição de uma camada explicativa a esta revisão visto o seu potencial de evidenciar como o campo enquadra o problema da adoção, acabando por antecipar mecanismos, orientar escolhas analíticas e predizer alternativas recomendadas. Agrupamos as justificativas localizadas em quatro blocos:

- i. entender percepções, preocupações e resistências dos professores e de gestores educacionais sobre adoção de novas abordagens (N = 20) (Álvarez-Marín et al., 2023; Borland et al., 2015; Brito et al., 2020; Carroll et al., 2023; Dallavis, 2023; Dancy et al., 2016; Froyd et al., 2013; García et al., 2021; Gilchrist et al., 2017; Goodwin et al., 2018; Hilpert, 2016; Isaacs-Sodeye & Lande, 2013; Lee et al., 2022; Marbach-Ad & Rietschel, 2016; Nadelson et al., 2016; Nipyrakis et al., 2023; Turpen et al., 2016; Urban, 2017; Yik et al., 2022; Zhu et al., 2019);
- ii. importância crescente de abordagens ativas de ensino e do uso tecnologias para desenvolvimento de habilidades cognitivas, sociais e pessoais (N = 16) (Apkarian et al., 2021; Chizwina & Mhakure, 2018; Doğru et al., 2023; Gabby et al., 2017; Gómez-Ríos et al., 2023; Idsardi et al., 2023; Joshi et al., 2023; Koretsky & Magana, 2019; Palacio-Jiménez et al., 2023; Pertuz et al., 2023; Quardokus & Henderson, 2018; Sachmpazidi, Olmstead, et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2023; Taajamaa et al., 2018; Tabarés & Boni, 2023; Terzieva et al., 2020);
- iii. adoção de inovações demora mesmo diante do consenso dos benefícios óbvios da nova abordagem ou do novo recurso, do interesse dos professores, prevalecendo o uso de aulas expositivas tradicionais e atividades centradas no professor (N = 15) (Andrews et al., 2020; Bathgate et al., 2019; Candaş & Altun, 2023; Foote et al., 2014, 2016; Henderson et al., 2018; Khatri et al., 2017; Marquez et al., 2023; McConnell et al., 2020; Riley et al., 2023; Sachmpazidi, Bautista, et al., 2021; Shi & Stains, 2021; Stewart et al., 2014; Walter et al., 2021; Yik et al., 2022); tem a ver um pouco com isso a distância entre pesquisa e sala de aula (Andrews et al., 2020; Riley et al., 2023);
- iv. entender as adaptações realizadas nas inovações para o uso e sua influência sobre os resultados obtidos (N = 6) (Borrego et al., 2013; Donovan & LaMar, 2023; Petter et al., 2021; Silva-Díaz et al., 2023; Vishnubhotla et al., 2022; Zich et al., 2020).

Essas justificativas permitem interpretar, em alguma medida, como o que os autores entendem por “gargalos” do processo de adoção de inovações na área. No recorte investigado, a adoção de inovações é interpretada sob perspectivas complementares relativas a elementos organizacionais (grupo *i*), a valores de fim educacional (grupo *ii*), ao paradoxo da implementação de inovações (grupo *iii*) e à realidade do processo de adoção referente a modificações que são naturais de acontecer (grupo *iv*). Em conjunto, esse arranjo indica que a área de Educação em Ciências reconhece a adoção como um fenômeno multinível (interconectando pessoas, rotinas, organizações e estrutura da inovação), mas que ainda concentra explicações em eixos de percepção e valorização (*i* e *ii*), e menos frequentemente em como a inovação circula e se estabiliza (*iii* e *iv*).

Quando trianguladas com o perfil da inovação, barreiras, facilitadores e recomendações presentes na amostra, essas justificativas revelam alguns encadeamentos consistentes. Em uma amostra dominada por metodologias e métodos ativos e recursos tecnológicos, é esperado que justificativas que busquem entender o contexto se traduzam em barreiras estruturais combinadas a demandas de planejamento docente. O próprio mapeamento do perfil das inovações e de elementos facilitadores de adoção corrobora isso e ajuda a explicar por que mais preparação docente, de forma isolada, não resolve um problema que é conectado a outros elementos de naturezas e proporções distintas.

Também cabe destacar que essas justificativas estão coerentemente correlacionadas com as ações recomendadas pelos próprios estudos. Por exemplo, quando o foco é entender barreiras/facilitadores, prevalecem sugestões de medidas institucionais e apoios instrumentais e operacionais para dirimir dificuldades estruturais e de planejamento, convertendo possibilidade em capacidade de ação docente. No caso de justificativa pela crescente importância de alguns recursos, as recomendações associadas convergem para integração pedagógica e desenvolvimento profissional contínuo, com destaque para proposição de diretrizes e oferta de recursos para uso de tecnologias, formação com ênfase prática e incentivo à participação em oficinas. Para justificativas que versam sobre a lentidão da adoção e sobre adaptações, as recomendações dos respectivos trabalhos se alinham para deslocar o foco para a qualidade da implementação, sugerindo medidas que evitem simplificações exageradas nas inovações e permitam interpretar resultados a partir daquilo que foi efetivamente preservado na nova proposta.

Considerações finais

Nesta revisão sistemática, examinamos como a literatura em Educação em Ciências aborda o processo de adoção de inovações. Realizamos buscas nas plataformas *Web of Science* (Coleção Principal), *SciELO Citation Index* e *Scopus*, utilizando variações dos termos “adoção” e “inovação” nos campos de título, resumo e palavras-chave, com recorte temporal de 2013 a 2023, e inclusão de artigos de pesquisa publicados em português, inglês e espanhol. A amostra analisada compreendeu 55 artigos, cuja síntese foi qualitativa e organizada por codificação iterativa de categorias emergentes. Integramos os resultados em quatro eixos principais para descrever e analisar i) o perfil das investigações, ii) referenciais adotados, iii)

recomendações dos autores para facilitar a adoção de inovações e iv) justificativas dos autores para realização das pesquisas.

Quanto ao perfil dos estudos, mostrou-se um campo, no *corpus* analisado, majoritariamente internacional, com forte concentração de publicações realizadas nos Estados Unidos, foco em Educação STEM e predomínio do ensino superior (tanto em cursos de bacharelado quanto de formação de professores). Metodologicamente, prevaleceram investigações empíricas, sobretudo qualitativas, com análises recorrentemente desenvolvidas a partir de questionários, entrevistas, observações e documentos; estudos quantitativos foram menos frequentes e há poucos trabalhos de natureza teórica. As inovações envolvidas nas investigações se concentram em metodologias e métodos ativos de ensino, seguidas por recursos tecnológicos, além de arranjos de ambientes de aprendizagem e intervenções curriculares. A análise do perfil da amostra também permitiu identificar linhas temáticas, concentradas em barreiras, facilitadores, implementação e impacto, frequentemente combinadas em um mesmo estudo, indicando um tratamento da adoção como um processo dinâmico que articula desafios institucionais, competências docentes e atributos das inovações.

A respeito dos referenciais adotados, observa-se, na amostra analisada, uma lacuna de fundamentação teórica do fenômeno de adoção, uma vez que 37 dos 55 estudos da amostra não mobiliza quadros específicos. Entre os que o fazem, predomina um enfoque em determinantes individuais, complementado por modelos de preocupações docentes, de mudança organizacional e, pontualmente, de fidelidade de implementação. O resultado é um mosaico útil, porém compartimentado e com raras articulações, o que favorece heterogeneidade operacional do termo “adoção”, dificultando comparações e encadeamento causal entre barreiras/facilitadores e continuidade do uso de inovações.

No *corpus* da revisão, não identificamos uso ou proposição de um referencial teórico-metodológico específico para investigar a adoção de inovações na Educação em Ciências. Para avançar, demonstra-se relevante explicitar definições operacionais, vincular teorias a construtos e indicadores observáveis e integrar níveis de análise, de modo a produzir evidências mais comparáveis e cumulativas com diagnósticos mais sensíveis ao contexto. As análises aqui desenvolvidas podem oferecer subsídios e matrizes de alinhamento para esse movimento.

Sobre as recomendações para facilitar o uso de inovações, elas aparecem em menos da metade dos estudos da amostra e se concentram no nível institucional, com amplo consenso sobre a criação de condições e formação continuada, sobretudo em tecnologias emergentes. Tomadas isoladamente, tendem a um viés de treinamento e podem ser pouco efetivas; elas podem ganhar sentido se organizadas como trajetórias integradas, entrelaçando decisões institucionais, apoios instrumentais, ciclos de testes e acompanhamento, explicitando detalhes críticos para efetivar a implementação. Na amostra analisada, onde predominam metodologias e métodos ativos e recursos tecnológicos, essas sugestões convergem para: tempo e coordenação para planejamento e preservação de elementos essenciais; envolvimento pedagógico da tecnologia em tarefas de ensino e de aprendizagem; suporte prolongado quando a mudança é de natureza metodológica.

A análise das justificativas que sustentam as investigações permitiu compreender como o campo da Educação em Ciências enquadra a adoção de inovações. Trabalhos cujas justificativas estavam centradas em análises de percepções, preocupações e resistências tratam a adoção sobretudo como problema atitudinal e de disposição para a mudança, deslocando o foco para dificuldades individuais e institucionais. Naquelas investigações apoiadas na importância de metodologias e métodos ativos e tecnologias, há o tom normativo de que o uso de inovações é desejável porque permite desenvolver certas competências, favorecendo agendas de formação e provisão de recursos. O argumento da lentidão da adoção apesar de benefícios reconhecidos interpreta o fenômeno como um desafio de gestão de mudanças, reconhecendo descompassos entre pesquisa e sala de aula. Por fim, a atenção às adaptações e seus efeitos concebe a adoção como um processo, em que fidelidade e ajustes contextuais determinam resultados. Tomadas em conjunto, essas justificativas sugerem que o campo entende a adoção como um fenômeno multinível que vai desde a intenção e aceitação até a implementação e estabilização das inovações, mas que ainda concentra explicações nos planos de percepção e valorização, com menor investimento analítico em qualidade de execução e manutenção – explicando, em parte, o padrão de recomendações e as lacunas identificadas.

Cabe ressaltar que as escolhas metodológicas desta revisão naturalmente delimitam o alcance das conclusões aqui apresentadas. Primeiro, o recorte temporal aplicado acaba privilegiando um período específico do debate, podendo ter excluído trabalhos potencialmente relevantes para a compreensão da evolução histórica do tema. Segundo, a estratégia de busca se apoiou em termos também em inglês e em bases internacionais, o que pode ter limitado a recuperação de produções indexadas em repositórios nacionais ou que descrevem o fenômeno com outras concepções; além disso, como os termos foram aplicados a título, resumo e palavras-chave, estudos que tratem do fenômeno principalmente no corpo do texto podem não ter sido recuperados. Terceiro, o uso do termo adoção como eixo de busca pode não abarcar toda a variedade conceitual com que pesquisadores nomeiam o processo de uso de inovações (e.g., implementação, institucionalização), de modo que parte da literatura potencialmente pertinente pode não ter sido consultada. Isso implica que as tendências, lacunas e recomendações identificadas devem ser interpretados como característicos do *corpus* selecionado, não como um retrato exaustivo do campo.

Apoiados nos achados da revisão, entendemos que futuras investigações no tema devem buscar uma abordagem mais integrada, que considere não apenas as especificidades contextuais, mas também as características estruturais da inovação em si, permitindo compreender como estas podem (ou não) ser integradas ao cenário educacional. Igualmente relevante, é necessário que se promova um diálogo contínuo entre as instituições de ensino, os docentes e os pesquisadores, posto que a colaboração entre esses atores é essencial para a implementação bem-sucedida de inovações, assegurando que as práticas educacionais sejam mais facilmente adaptadas, o que pode contribuir para alcançar a eficácia desejada. À luz das limitações apontadas, essas indicações devem ser entendidas como hipóteses analíticas sugerida pelo *corpus* examinado. Em particular, estudos de revisão futuros podem ampliar a cobertura temporal, incorporar bases e repositórios e adotar estratégias de busca que incluam termos alternativos ao de “adoção”. Também se mostra relevante explicitar com maior

granularidade o que se entende por inovação em cada investigação, para reduzir efeitos da polissemia e melhorar a comparabilidade entre resultados. Com isso, esperamos que este estudo contribua para o avanço das discussões sobre a adoção de inovações na Educação em Ciências, oferecendo esclarecimentos que possam embasar pesquisas e desenvolvimentos de práticas educacionais mais eficazes e continuamente utilizadas.

Agradecimentos

Felippe Percheron agradece pela bolsa de doutorado concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Brasil – Código de Financiamento 001. Ives Solano Araujo agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Produtividade em Pesquisa.

Referências

- Álvarez-Marín, A., Velázquez-Iturbide, J. Á., & Castillo-Vergara, M. (2023). The acceptance of augmented reality in engineering education: The role of technology optimism and technology innovativeness. *Interactive Learning Environments*, 31(6), 3409–3421. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1928710>
- Alves, M., & Bego, A. M. (2020). A Celeuma em Torno da Temática do Planejamento Didático-Pedagógico: Definição e Caracterização de seus Elementos Constituintes. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 71–96. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u7196>
- Andrews, M. E., Graham, M., Prince, M., Borrego, M., Finelli, C. J., & Husman, J. (2020). Student resistance to active learning: Do instructors (mostly) get it wrong? *Australasian Journal of Engineering Education*, 25(2), 142–154. <https://doi.org/10.1080/22054952.2020.1861771>
- Apkarian, N., Henderson, C., Stains, M., Raker, J., Johnson, E., & Dancy, M. (2021). What really impacts the use of active learning in undergraduate STEM education? Results from a national survey of chemistry, mathematics, and physics instructors. *PLoS ONE*, 16(2), e0247544. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247544>
- Bathgate, M. E., Aragón, O. R., Cavanagh, A. J., Waterhouse, J. K., Frederick, J., & Graham, M. J. (2019). Perceived supports and evidence-based teaching in college STEM. *International Journal of STEM Education*, 6(11), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40594-019-0166-3>
- Borland, R., Loch, B., & McManus, L. (2015). Implementing blended learning at faculty level: Supporting staff, and the ‘ripple effect’. *Proceedings of ASCILITE*, 389–393. <https://doi.org/10.14742/apubs.2015.951>
- Borrego, M., Cutler, S., Prince, M., Henderson, C., & Froyd, J. E. (2013). Fidelity of Implementation of Research-Based Instructional Strategies (RBIS) in Engineering Science Courses. *Journal of Engineering Education*, 102(3), 394–425. <https://doi.org/10.1002/jee.20020>
- Brito, I. S., Barros, J. P., & Rodrigues, E. (2020). Moving to Project-Based Learning at the Program Level: An Experience Report. *2020 IEEE Global Engineering Education Conference*, 1614–1621. <https://doi.org/10.1109/EDUCON45650.2020.9125297>
- Candaş, B., & Altun, T. (2023). Investigating Flipped Laboratory Practices of Science Student Teachers. *Journal of Turkish Science Education*, 20, 173–188. <https://doi.org/10.36681/tused.2023.010>
- Carroll, L. J., Reeping, D., Finelli, C. J., Prince, M. J., Husman, J., Graham, M., & Borrego, M. J. (2023). Barriers instructors experience in adopting active learning: Instrument development. *Journal of Engineering Education*, 112(4), 1079–1108. <https://doi.org/10.1002/jee.20557>
- Chizwina, S., & Mhakure, D. (2018). Exploring how the Attributes of Technology Affect Adoption in Teaching Mathematics in a Higher Education Institution in South Africa. *African Journal of Research*

- in Mathematics, Science and Technology Education*, 22(3), 276–286.
<https://doi.org/10.1080/18117295.2018.1499459>
- Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2019). Research Synthesis as a Scientific Process. Em H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Org.), *Handbook of research synthesis and meta-analysis* (3º ed., p. 3–16). Russel Sage Foundation.
- Dallavis, J. W. (2023). Becoming a STEM-Focused Catholic School: Insights into Adopting a Curricular Specialization. *Journal of Catholic Education*, 26(2), 85–107.
<https://doi.org/10.15365/joce.2602052023>
- Dancy, M., Henderson, C., & Turpen, C. (2016). How faculty learn about and implement research-based instructional strategies: The case of Peer Instruction. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010110. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010110>
- Doğru, M. S., Yüzbaşıoğlu, F., & Arpacı, I. (2023). The effect of interactive videos enhanced with pop-up questions on teacher candidates' learning performance in science. *Research in Science & Technological Education*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2272820>
- Donovan, S., & LaMar, M. D. (2023). Using Science Education Gateways to Improve Undergraduate STEM Education: The QUBES Platform as a Case Study. *Computing in Science & Engineering*, 25(2), 20–29. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2023.3292313>
- Foote, K., Knaub, A., Henderson, C., Dancy, M., & Beichner, R. J. (2016). Enabling and challenging factors in institutional reform: The case of SCALE-UP. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010103. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010103>
- Foote, K., Neumeyer, X., Henderson, C. R., Dancy, M. H., & Beichner, R. J. (2014). SCALE-UP Implementation and Intra-Institutional Dissemination: A Case Study of Two Institutions. *2014 Physics Education Research Conference Proceedings*, 83–86.
<https://doi.org/10.1119/perc.2014.pr.017>
- Froyd, J. E., Borrego, M., Cutler, S., Henderson, C., & Prince, M. J. (2013). Estimates of Use of Research-Based Instructional Strategies in Core Electrical or Computer Engineering Courses. *IEEE Transactions on Education*, 56(4), 393–399. <https://doi.org/10.1109/TE.2013.2244602>
- Fullan, M. (2009). *O Significado da Mudança Educacional* (R. C. Costa, Trad.; 4º ed.). Artmed Editora.
- Gabby, S., Avargil, S., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2017). The case of middle and high school chemistry teachers implementing technology: Using the concerns-based adoption model to assess change processes. *Chemistry Education Research and Practice*, 18(1), 214–232.
<https://doi.org/10.1039/C6RP00193A>
- García, A. V. M., Pérez, B. M. G., & Martín-Lucas, J. (2021). Fases de implementación de Blended Learning en las universidades españolas: Estudio basado en análisis de segmentación. *Revista Portuguesa de Educação*, 34(1), 28–49. <https://doi.org/10.21814/rpe.17754>
- Gilchrist, P. O., Grable, L. L., Young, T., Bowles, T. A., & Brady, K. P. (2017). Middle and high school teachers' implementation reflections of photonics and optics curriculum in a qualitative study. Em X. Liu & X.-C. Zhang (Org.), *14th Conference on Education and Training in Optics and Photonics* (p. 1–10). SPIE. <https://doi.org/10.1117/12.2270958>
- Glanville, J. (2019). Searching Bibliographic Databases. Em H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Org.), *The Handbook of Research Synthesis and Meta-Analysis* (3º ed., p. 73–99). Russel Sage Foundation.
- Gómez-Ríos, D., Ramírez-Malule, H., & Marriaga-Cabrales, N. (2023). Mesocurriculum modernization of a chemical engineering program: The case of a high-impact regional university in Colombia. *Education for Chemical Engineers*, 44, 181–190. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.06.002>
- Goodwin, E. C., Cao, J. N., Fletcher, M., Flaiban, J. L., & Shortlidge, E. E. (2018). Catching the Wave: Are Biology Graduate Students on Board with Evidence-Based Teaching? *CBE—Life Sciences Education*, 17(3), 1–13. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-12-0281>

- Henderson, C. (2005). The challenges of instructional change under the best of circumstances: A case study of one college physics instructor. *American Journal of Physics*, 73(8), 778–786. <https://doi.org/10.1119/1.1927547>
- Henderson, C., & Dancy, M. H. (2007). Barriers to the use of research-based instructional strategies: The influence of both individual and situational characteristics. *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, 3(2), 020102. <https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.3.020102>
- Henderson, C., & Dancy, M. H. (2008). Physics faculty and educational researchers: Divergent expectations as barriers to the diffusion of innovations. *American Journal of Physics*, 76(1), 79–91. <https://doi.org/10.1119/1.2800352>
- Henderson, C., Khan, R., & Dancy, M. (2018). Will my student evaluations decrease if I adopt an active learning instructional strategy? *American Journal of Physics*, 86(12), 934–942. <https://doi.org/10.1119/1.5065907>
- Hilpert, J. C. (2016). A Multivariate Examination of Active and Interactive Learning and Student Engagement in Post-Secondary Engineering Energy Science Classrooms: The “Why” of Instructional Strategy Use. *123rd ASEE Annual Conference and Exposition*, 1–16. <https://peer.asee.org/a-multivariate-examination-of-active-and-interactive-learning-and-student-engagement-in-post-secondary-engineering-energy-science-classrooms-the-why-of-instructional-strategy-use.pdf>
- Idsardi, R., Friedly, I., Mancinelli, J., Usai, N., & Matos, L. F. (2023). Outcomes of Early Adopters Implementing the Flipped Classroom Approach in Undergraduate STEM Courses. *Journal of Science Education and Technology*, 32(5), 655–670. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10066-9>
- Isaacs-Sodeye, O., & Lande, M. (2013). Teaching with unfamiliar pedagogy for engineering design instructors. *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1447–1449. <https://doi.org/10.1109/FIE.2013.6685071>
- Joshi, D. R., Khanal, J., & Dhakal, R. H. (2023). From Resistance to Resilience: Teachers’ Adaptation Process to Mediating Digital Devices in Pre-COVID-19, during COVID-19, and Post-COVID-19 Classrooms in Nepal. *Education Sciences*, 13(5), 1–18. <https://doi.org/10.3390/educsci13050509>
- Khatrri, R., Henderson, C., Cole, R., Froyd, J. E., Friedrichsen, D., & Stanford, C. (2017). Characteristics of well-propagated teaching innovations in undergraduate STEM. *International Journal of STEM Education*, 4(2), 1–10. <https://doi.org/10.1186/s40594-017-0056-5>
- Koretsky, M., & Magana, A. (2019). Using technology to enhance learning and engagement in engineering. *Advances in Engineering Education*, 7(2), 1–53. <https://advances.asee.org/using-technology-to-enhance-learning-and-engagement-in-engineering/>
- Lee, Y., Evenhouse, D. A., Berger, E. J., Rhoads, J. F., & Deboer, J. (2022). Orchestrating a culture-aligned adoption and adaptation of an instructional innovation: A story of an engineering professor’s pedagogical decisions between innovation and school culture. *ASEE 2022 Annual Conference*, 1–14. <https://par.nsf.gov/biblio/10355877>
- Marbach-Ad, G., & Rietschel, C. (2016). A Case Study Documenting the Process by Which Biology Instructors Transition from Teacher-Centered to Learner-Centered Teaching. *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), 1–14. <https://doi.org/10.1187/cbe.16-06-0196>
- Marquez, R., Barrios, N., Vera, R. E., Mendez, M. E., Tolosa, L., Zambrano, F., & Li, Y. (2023). A perspective on the synergistic potential of artificial intelligence and product-based learning strategies in biobased materials education. *Education for Chemical Engineers*, 44, 164–180. <https://doi.org/10.1016/j.ece.2023.05.005>
- Mazzarol, T., & Reboud, S. (2020). Adoption and Diffusion of Innovation. Em T. Mazzarol & S. Reboud, *Entrepreneurship and Innovation* (p. 165–189). Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-13-9412-6_6
- McConnell, M., Montplaisir, L., & Offerdahl, E. G. (2020). A model of peer effects on instructor innovation adoption. *International Journal of STEM Education*, 7(53), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00255-y>

- Morad, S., Ragonis, N., & Barak, M. (2021). An integrative conceptual model of innovation and innovative thinking based on a synthesis of a literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 40, 100824. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2021.100824>
- Nadelson, L., Sias, C. M., & Seifert, A. (2016). Challenges for integrating engineering into the K-12 curriculum: Indicators of K-12 teachers' propensity to adopt innovation. *123rd ASEE Annual Conference and Exposition*, 1–16. <https://peer.asee.org/challenges-for-integrating-engineering-into-the-k-12-curriculum-indicators-of-k-12-teachers-propensity-to-adopt-innovation.pdf>
- Nipyrakis, A., Stavrou, D., & Avraamidou, L. (2023). Designing technology-enhanced science experiments in elementary teacher preparation: The role of learning communities. *Research in Science & Technological Education*, 1–23. <https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2202386>
- Palacio-Jiménez, D., Valencia-Quiceno, J. D., Valencia-Arias, A., & Benjumea-Arias, M. (2023). Adoption of Digital Tools Among Geoscience Students Based on the TAM Model. *IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje*, 18(4), 384–392. <https://doi.org/10.1109/RITA.2023.3324027>
- Percheron, F., Araujo, I. S., & Espinosa, T. (2025). Inovação Didática: Uma proposta de conceitualização a partir da Teoria Antropológica do Didático. *Ciência & Educação*, 31, e25036. <https://doi.org/10.1590/1516-731320250036>
- Pertuz, S., Reyes, O., Cristobal, E. S., Meier, R., & Castro, M. (2023). MOOC-Based Flipped Classroom for On-Campus Teaching in Undergraduate Engineering Courses. *IEEE Transactions on Education*, 66(5), 468–478. <https://doi.org/10.1109/TE.2023.3282896>
- Petter, A. A., Espinosa, T., & Araujo, I. S. (2021). Inovação didática no Ensino de Física: Um estudo sobre a adoção do método Instrução pelos Colegas (Peer Instruction) no contexto de Mestrados Profissionais em Ensino no Brasil. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210070. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-rbef-2021-0070>
- Petter, A. A., Souza, D. G. de, Espinosa, T., & Araujo, I. S. (2025). Inovação em Educação: Uma análise sistemática de revisões de literatura. *Revista Brasileira de Educação*, 30 (contínuo), e300017. <https://doi.org/10.1590/S1413-24782025300017>
- Quardokus, K., & Henderson, C. (2018). Department-Level Instructional Change: Comparing Prescribed versus Emergent Strategies. *CBE—Life Sciences Education*, 17(4), ar56. <https://doi.org/10.1187/cbe.17-02-0031>
- Riley, D., Mallouk, K., Faber, C., & Coso Strong, A. (2023). Adoption of Pedagogical Innovations: Social Networks of Engineering Education Guilds. *Education Sciences*, 13(11), 1102. <https://doi.org/10.3390/educsci13111102>
- Rogers, E. M. (2003). *Diffusion of Innovations*. Free Press.
- Sachmpazidi, D., Bautista, M., Chajeki, Z., Mendoza, C., & Henderson, C. (2021). Integrating numerical modeling into an introductory physics laboratory. *American Journal of Physics*, 89(7), 713–720. <https://doi.org/10.1119/10.0003899>
- Sachmpazidi, D., Olmstead, A., Thompson, A. N., Henderson, C., & Beach, A. (2021). Team-based instructional change in undergraduate STEM: Characterizing effective faculty collaboration. *International Journal of STEM Education*, 8(15), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00273-4>
- Shi, L., & Stains, M. (2021). Development of the Departmental Climate around Teaching (DCaT) survey: Neither psychological collective climate nor departmental collective climate predicts STEM faculty's instructional practices. *International Journal of STEM Education*, 8(44), 1–20. <https://doi.org/10.1186/s40594-021-00303-1>
- Silva-Díaz, F., Marfil-Carmona, R., Narváez, R., Silva Fuentes, A., & Carrillo-Rosúa, J. (2023). Introducing Virtual Reality and Emerging Technologies in a Teacher Training STEM Course. *Education Sciences*, 13(10), 1044. <https://doi.org/10.3390/educsci13101044>
- Stewart, S., Brown, D., & Dotger, S. (2014). On Adopting Educational Materials: A Cautionary Tale. 483, 291–295. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2014ASPC..483..291S>

- Taajamaa, V., Jarvi, A., Laato, S., & Holvitie, J. (2018). Co-creative engineering curriculum design—Case East Africa. *2018 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, 1–5.
<https://doi.org/10.1109/FIE.2018.8658521>
- Tabarés, R., & Boni, A. (2023). Maker culture and its potential for STEM education. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(1), 241–260. <https://doi.org/10.1007/s10798-021-09725-y>
- Tavares, F. G. de O. (2019). O conceito de inovação em educação: Uma revisão necessária. *Educação (UFMS)*, 44, 1–19. <https://doi.org/10.5902/1984644432311>
- Terzieva, V., Paunova-Hubenova, E., Dimitrov, S., & Boneva, Y. (2020). ICT in STEM Education in Bulgaria. Em M. E. Auer & T. Tsiatsos (Org.), *The Challenges of the Digital Transformation in Education* (V. 916, p. 801–812). Springer International Publishing. http://doi.org/10.1007/978-3-030-11932-4_74
- Turpen, C., Dancy, M., & Henderson, C. (2016). Perceived affordances and constraints regarding instructors' use of Peer Instruction: Implications for promoting instructional change. *Physical Review Physics Education Research*, 12(1), 010116. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.010116>
- Urban, S. (2017). Pen-Enabled, Real-Time Student Engagement for Teaching in STEM Subjects. *Journal of Chemical Education*, 94(8), 1051–1059. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00127>
- Vishnubhotla, M., Chowdhury, A., Apkarian, N., Johnson, E., Dancy, M., Henderson, C., Claire Lau, A., Raker, J. R., & Stains, M. (2022). “I use IBL in this course” may say more about an instructor's beliefs than about their teaching. *International Journal of Research in Undergraduate Mathematics Education*, 8(3), 1–20. <https://doi.org/10.1007/s40753-022-00186-9>
- Walter, E. M., Beach, A. L., Henderson, C., Williams, C. R., & Ceballos-Madrigal, I. (2021). Understanding Conditions for Teaching Innovation in Postsecondary Education: Development and Validation of the Survey of Climate for Instructional Improvement (SCII). *International Journal of Technology in Education*, 4(2), 166–199. <https://doi.org/10.46328/ijte.46>
- Wanyama, S. B., McQuaid, R. W., & Kittler, M. (2022). Where you search determines what you find: The effects of bibliographic databases on systematic reviews. *International Journal of Social Research Methodology*, 25(3), 409–422. <https://doi.org/10.1080/13645579.2021.1892378>
- Yik, B. J., Raker, J. R., Apkarian, N., Stains, M., Henderson, C., Dancy, M. H., & Johnson, E. (2022). Association of malleable factors with adoption of research-based instructional strategies in introductory chemistry, mathematics, and physics. *Frontiers in Education*, 7, 1016415. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1016415>
- Zhu, Y., Wang, M., & Zhang, Y. (2019). Building Learning Communities Among English Learners in STEM Majors—Case Studies of Undergraduates in Chinese Universities. *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Education*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/TALE48000.2019.9225944>
- Zich, R., Sammons, A., & Rosenblatt, R. (2020). A revision of a traditional astronomy course through active learning. *2019 Physics Education Research Conference Proceedings*, 687–692. <https://doi.org/10.1119/perc.2019.pr.Zich>