

Tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática: um mapeamento sistemático da literatura

Artificial intelligence technologies in the teaching and learning of Mathematics: a systematic mapping of the literature

Deusarino Oliveira Almeida Junior¹
José Messildo Nunes²

Resumo

Este artigo apresenta um mapeamento sistemático sobre o uso de tecnologias de Inteligência Artificial (IA) no ensino e na aprendizagem de Matemática, estruturado pela estratégia POT e orientado pelo protocolo PRISMA 2020. A busca nas bases ERIC, SciELO e Portal CAPES resultou em 20 estudos selecionados. A análise evidencia que tutores inteligentes, agentes ensináveis, algoritmos de machine learning, robôs educacionais e modelos de linguagem podem favorecer personalização da aprendizagem, *feedback* imediato, suporte investigativo e desenvolvimento de competências matemáticas. Também foram identificados desafios éticos, limitações metodológicas e lacunas na formação docente para o uso crítico da IA. Os resultados reforçam potencialidades, indicam oportunidades para novas práticas na Educação Matemática e apontam direções para pesquisas futuras.

Palavras-chave: ensino de matemática; inteligência artificial; revisão sistemática; prisma 2020.

Abstract

This article presents a systematic mapping of research on the use of Artificial Intelligence (AI) technologies in the teaching and learning of Mathematics, structured according to the POT strategy and guided by the PRISMA 2020 protocol. The search conducted in the ERIC, SciELO, and CAPES databases resulted in the selection of 20 studies. The analysis indicates that intelligent tutoring systems, teachable agents, machine learning algorithms, educational robots, and language models can support learning personalization, immediate feedback, investigative support, and the development of mathematical competencies. Ethical challenges, methodological limitations, and gaps in teacher education for the critical use of AI were also identified. The results highlight existing potentialities, point to opportunities for new practices in Mathematics Education, and indicate directions for future research.

Keywords: mathematics education; artificial intelligence; systematic review; prisma 2020.

¹ Secretaria de Estado de Educação do Pará SEDUC-PA | djralmeida@gmail.com

² Universidade Federal do Pará – UFPA | messildo@ufpa.com.br

Introdução

A expansão acelerada das tecnologias de IA tem provocado transformações significativas nos diferentes campos do conhecimento, incluindo a Educação e, em particular, a Educação Matemática. A presença crescente de sistemas tutores inteligentes, agentes ensináveis, algoritmos de aprendizagem de máquina, robôs educacionais, plataformas adaptativas e modelos de linguagem de grande porte inaugura novas possibilidades para o ensino e a aprendizagem, ao mesmo tempo em que impõe desafios epistemológicos, didático-pedagógicos, éticos e formativos. Em um cenário caracterizado pela complexidade e pela demanda crescente por práticas personalizadas, investigativas e centradas no estudante, a IA emerge como uma tecnologia com potencial para reorganizar processos formativos e ampliar estratégias de mediação no trabalho com conceitos matemáticos.

O debate sobre a incorporação dessas tecnologias evidencia um campo em expansão, marcado pelo aumento de estudos que investigam os impactos da IA na aprendizagem matemática, explorando desde ambientes digitais adaptativos até sistemas de análise cognitiva e visual. Essa diversidade de abordagens revela por um lado a vitalidade do tema e por outro a ausência de sistematizações amplas que permitam compreender, de modo articulado, as tendências, limitações e potencialidades presentes na literatura. A heterogeneidade metodológica e conceitual observada nos estudos indica que ainda carecemos de análises mais robustas que orientem a compreensão do lugar da IA nas práticas educativas e suas implicações para professores e estudantes.

A relevância deste estudo decorre justamente da necessidade de compreender como a IA tem sido utilizada no ensino de Matemática, quais concepções didático-pedagógicas sustentam essas práticas e quais desafios emergem de sua implementação. Embora as tecnologias de IA apresentem potencial para qualificar práticas didáticas, apoiar estudantes em dificuldades e favorecer processos investigativos, sua adoção envolve questões fundamentais relacionadas à autonomia docente, à ética de dados, à privacidade e à formação crítica. Além disso, observa-se que grande parte dos estudos privilegia análises centradas no desempenho discente ou na eficácia técnica dos sistemas, deixando em segundo plano discussões sobre a formação do professor e sobre referenciais didáticos capazes de orientar um uso mais intencional e reflexivo da tecnologia. Nesse sentido, um mapeamento sistemático da literatura ancorada em critérios metodológicos transparentes e coerentes torna-se essencial para organizar e interpretar o conhecimento produzido até o momento.

Considerando essas questões, o presente artigo tem por objetivo geral mapear, analisar e discutir as perspectivas conceituais e metodológicas das pesquisas que tratam do uso de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática. Busca-se, especificamente, identificar as tecnologias utilizadas nos estudos selecionados, examinar suas aplicações em diferentes contextos educativos, analisar as potencialidades, oportunidades e tendências reveladas, identificar desafios e limitações relacionados à implementação pedagógica da IA e destacar lacunas que possam orientar pesquisas futuras.

Para tanto, adotou-se a estratégia POT (População, Outcome, Tipos de estudos) adaptada da estrutura PICOT (População, Intervenção, Comparador, Outcome, Tipos de estudos), articulada aos princípios do protocolo PRISMA 2020, o que garante rigor, transparência e reprodutibilidade aos procedimentos de busca, seleção e análise.

A estrutura deste artigo foi organizada de modo a oferecer ao leitor uma visão progressiva e integrada do percurso investigativo. Após esta introdução, apresenta-se uma

seção dedicada à revisão sistemática e ao protocolo PRISMA 2020, na qual são discutidos os fundamentos metodológicos que orientam o mapeamento realizado. Em seguida, são detalhados os procedimentos metodológicos, incluindo o delineamento do estudo, as estratégias de busca e os critérios de inclusão e exclusão dos materiais analisados. A seção de resultados sistematiza e caracteriza as evidências encontradas, enquanto a discussão interpreta esses achados à luz da literatura e de suas implicações para práticas educativas. Por fim, as considerações finais sintetizam as contribuições do estudo e apontam direções para a continuidade das pesquisas no campo da IA aplicada à Educação Matemática.

Revisão sistemática e o Protocolo Prisma 2020

As revisões sistemáticas têm se consolidado como um procedimento metodológico fundamental para a organização, síntese e análise crítica da produção científica em diferentes áreas do conhecimento, especialmente em campos caracterizados por rápida expansão e heterogeneidade teórico-metodológica. Diferentemente das revisões narrativas tradicionais, a revisão sistemática pressupõe a adoção de procedimentos explícitos, rigorosos e reprodutíveis, voltados à identificação, seleção, avaliação e síntese de estudos relevantes sobre uma temática específica. Conforme destacam Kitchenham e Charters (2007), esse tipo de revisão busca minimizar vieses e aumentar a confiabilidade dos resultados por meio de critérios claramente definidos ao longo de todas as etapas do processo.

Nesse contexto, o protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) constitui-se como uma das principais referências internacionais para o relato de revisões sistemáticas. Originalmente proposto em 2009 e atualizado em 2020, o PRISMA tem como objetivo principal aprimorar a transparência, a completude e a qualidade dos relatos de revisões sistemáticas, independentemente da área de conhecimento. Segundo Page *et al.* (2021), o PRISMA 2020 foi desenvolvido para responder às transformações ocorridas nas práticas de pesquisa, incorporando avanços metodológicos, novas bases de dados e diferentes tipos de revisão, incluindo mapeamentos sistemáticos. Os autores afirmam que o protocolo fornece um conjunto de diretrizes que “visa assegurar que os leitores possam compreender como a revisão foi conduzida, avaliar a validade dos métodos empregados e interpretar adequadamente os resultados apresentados” (PAGE *et al.*, 2021, p. 2).

O PRISMA 2020 não se limita a um checklist de itens a serem reportados, mas configura-se como um arcabouço metodológico que orienta todo o percurso investigativo, desde a formulação da pergunta de pesquisa até a apresentação dos resultados. Entre seus principais componentes, destacam-se a descrição explícita das estratégias de busca, os critérios de inclusão e exclusão, o processo de seleção dos estudos, a extração de dados e a síntese dos resultados. Um dos elementos centrais do protocolo é o fluxograma PRISMA, que permite visualizar de forma clara e sistemática as etapas de identificação, triagem, elegibilidade e inclusão dos estudos, contribuindo para a rastreabilidade e a transparência do processo de revisão.

No âmbito da Educação e das Ciências Humanas, o uso do PRISMA tem se ampliado progressivamente, especialmente em estudos que buscam mapear tendências, identificar lacunas e compreender a diversidade de abordagens presentes na literatura. Embora o protocolo tenha sido inicialmente concebido para revisões sistemáticas com possibilidade de meta-análise, sua versão atualizada reconhece explicitamente a adequação do PRISMA a diferentes tipos de revisão, incluindo revisões qualitativas e mapeamentos sistemáticos.

Conforme ressaltam Page *et al.* (2021), o PRISMA 2020 foi projetado para ser flexível e adaptável, permitindo sua aplicação em contextos nos quais o objetivo não é mensurar efeitos, mas organizar e descrever a produção científica existente.

Nesse sentido, o mapeamento sistemático caracteriza-se como uma modalidade de revisão que prioriza a identificação, categorização e descrição de estudos, em vez da comparação de resultados ou da avaliação de impacto de intervenções. Esse tipo de abordagem é particularmente pertinente em áreas emergentes, como o uso de tecnologias de Inteligência Artificial no ensino e na aprendizagem de Matemática, nas quais coexistem múltiplos enfoques teóricos, metodológicos e tecnológicos. O mapeamento sistemático permite, assim, oferecer uma visão panorâmica do campo, evidenciando padrões, tendências, recorrências e lacunas de pesquisa, conforme indicado por Kitchenham e Charters (2007).

A adoção do protocolo PRISMA 2020 em mapeamentos sistemáticos contribui para conferir rigor e legitimidade científica a estudos que não se enquadram em modelos experimentais tradicionais. Ao explicitar cada etapa do processo de busca e seleção dos estudos, o PRISMA favorece a reprodutibilidade da pesquisa e possibilita que outros pesquisadores compreendam, avaliem e eventualmente repliquem o percurso metodológico adotado. Além disso, o uso do protocolo fortalece a confiabilidade dos resultados, uma vez que reduz a subjetividade na seleção dos estudos e torna explícitos os critérios que orientam as decisões do pesquisador.

Dessa forma, ao adotar o PRISMA 2020 como referência metodológica, este estudo alinha-se às boas práticas internacionais de revisão sistemática, assegurando transparência, consistência e rigor científico. O protocolo oferece a base conceitual e metodológica que sustenta as decisões apresentadas na seção seguinte, na qual são detalhados o delineamento do estudo, as estratégias de busca, os critérios de inclusão e exclusão, bem como os procedimentos de extração e análise dos dados. Assim, o PRISMA 2020 não apenas orienta o relato da pesquisa, mas constitui elemento estruturante do próprio desenho metodológico adotado neste mapeamento sistemático.

Metodologia

Com base na revisão sistemática estruturada em PICOT optamos por utilizar a estratégia adaptada em POT, em que são suprimidos os elementos intervenção e comparador, uma vez que não temos interesse em avaliar o impacto de uma intervenção ou exposição, mas determinar a frequência da condição. Buscamos incorporar neste estudo bibliográfico, elementos do protocolo PRISMA 2020 a fim de estabelecermos uma estrutura organizada para facilitar a redação dos resultados.

Na estratégia estruturada em POT, a população refere-se ao grupo de indivíduos ou entidades que são o foco da revisão, o *outcome* representa o resultado ou desfecho que está sendo avaliado na revisão e os tipos de estudo são constituídos dos tipos de pesquisa ou desenhos de estudo que serão incluídos na revisão.

Assim, para nortear o processo de busca, seleção e análise dos estudos de nossa revisão estruturada em POT, definimos que a população (**P**), o *outcome* (**O**) e os tipos de estudo (**T**) são respectivamente:

P: Pesquisas que tratam da utilização de tecnologias de inteligência artificial no ensino e na aprendizagem de matemática.

O: Identificar os aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática.

T: Pesquisas desenvolvidas no campo da Educação Matemática que tratam da utilização de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática, indexadas em bases de dados *online* na forma de artigo, dissertação, tese, ensaios, relatos de experiências, livros ou qualquer estudo que mostre um nível de evidência para o objetivo proposto.

Reiteramos que para iniciar um estudo bibliográfico embasado em revisões sistemáticas, torna-se essencial elaborar previamente um protocolo de pesquisa constituído de diretrizes claras acerca dos principais itens do percurso de investigação bibliográfica. Desse modo, apresentamos a seguir, o protocolo de revisão embasado em aspectos de uma revisão sistemática que direcionou nosso mapeamento sistemático revisão de estudos.

Protocolo de pesquisa

Título da Pesquisa:

A utilização de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática.

Questão de Pesquisa:

Quais as perspectivas de utilização das tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática?

Objetivo

Identificar os aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso das tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática.

Fontes

Consideramos relevante para este estudo incluir fontes de informações como, artigos científicos, teses e dissertações disponíveis nas seguintes bases de dados: *Education Resources Information Center* (ERIC)³; Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior - Ministério da Educação CAPES/MEC⁴, com acesso pelo CAFE/CAPES, com *login* pela UFPA, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO)⁵. Consultas a citações relevantes, assim como a bases cinzentas (compreendidas como fontes que indicam artigos não disponíveis nas bases indexadas), as quais fornecem subsídios teóricos sólidos e alinhados aos objetivos da pesquisa.

Estratégia de busca

As bases de dados pesquisadas possuem campos de buscas personalizados e filtros distintos entre si, de modo que foram utilizadas diferentes expressões em cada uma das bases, associando-as aos respectivos operadores booleanos disponibilizados por essas bases indexadoras. O Quadro 1, contém as expressões de busca utilizadas e os filtros aplicados em cada uma das base de dados utilizada.

³ Disponível em: <https://eric.ed.gov/>

⁴ Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez3.periodicos.capes.gov.br/>

⁵ Disponível em: <https://www.scielo.br/>

Quadro 1: Sintaxe das expressões de busca

Base de dados	Sintaxe das expressões de busca	Filtros aplicados
CAPEL MEC	(Qualquer campo) <i>Artificial Intelligence</i> OR Inteligência Artificial (Título) AND <i>Mathematics</i> OR Matemática (Título) AND <i>Mathematics Teaching</i> OR Ensino de Matemática (Qualquer campo).	a) Periódicos revisados por pares; b) Artigos; c) Artificial Intelligence; d) Mathematics; e) Education; f) Teaching; g) students; h) Learning.
SciELO	"Inteligência Artificial" OR "Artificial intelligence" AND "Matemática" OR "Mathematics" AND "Ensino de Matemática" OR "Teaching Mathematics"	a) Área temática Education (WoS - Web of Science); b) Área temática Educational (WoS - Web of Science) e c) Tipo de literatura: Artigo.
ERIC	Artificial Intelligence AND Teaching AND Mathematics.	a) Área da Educação Matemática; b) Artigos periódicos.

Fonte: Os autores.

Tipos de estudos a serem incluídos

A fim de identificar os aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso das tecnologias de IA no âmbito da Educação Matemática, foram incluídos estudos qualitativos ou quantitativos desenvolvidos no Brasil e/ou no exterior que utilizaram tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática. Tais estudos serão incluídos ou excluídos em consonância com os critérios de inclusão e exclusão apresentados a seguir.

Critérios de inclusão e exclusão

Inclusão:

- o Pesquisas que apresentem no título os termos: *Artificial Intelligence*/ Inteligência Artificial e/ou *Mathematics*/Matemática e/ou o termo Mathematics Teaching/Ensino de Matemática no resumo ou nas palavras-chave.
- o Pesquisas sobre o ensino e/ou aprendizagem de Matemática a partir de uso de tecnologias de IA.
- o Pesquisas que tratam da utilização de tecnologias de IA na Educação e/ou Educação Matemática.
- o Pesquisas que tratam de avanços e desafios da utilização da IA no ensino e na aprendizagem de Matemática.
- o Artigos periódicos revisados pelos pares de acesso na íntegra de modo gratuito nas bases pesquisadas e na literatura cinzenta.

Exclusão:

- Pesquisas que não apresentem no título os termos: *Artificial Intelligence/* Inteligência Artificial e *Mathematics/Matemática* e/ou não apresentem o termo *Mathematics Teaching/Ensino de Matemática* no resumo ou nas palavras-chave.
- Pesquisas que não tratam do ensino e/ou aprendizagem de Matemática a partir de uso de tecnologias de IA.
- Pesquisas que não tratam da utilização de Tecnologias de IA na Educação/ Educação Matemática.
- Pesquisas que não tratam de avanços e desafios da utilização da IA no ensino e na aprendizagem de Matemática.
- Artigos periódicos não revisados pelos pares e que não oferecem acesso na íntegra de modo gratuito nas bases pesquisadas e na literatura cinzenta.

População

Como já mencionado, a população constitui-se de pesquisas que tratam do uso de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática.

Intervenção

A etapa de intervenção não se aplica a presente revisão.

Comparação/Controle

A comparação e o controle não se aplicam a presente revisão.

Resultados principais

As pesquisas a serem analisadas devem apresentar como resultados a identificação de aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso das tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática, a partir do levantamento das pesquisas desenvolvidas e das percepções evidenciadas por seus pesquisadores.

Resultados adicionais

Outros resultados não estão em foco nesta revisão.

Extração de dados

Iniciamos o processo de extração de dados acessando cada uma das bases selecionadas informando o termo de busca e aplicando os respectivos filtros. A princípio, após obter os estudos nas bases de dados e registros, realizamos a tradução dos títulos e resumos dos artigos escritos em língua inglesa e posteriormente removemos aqueles não alinhados com os objetivos da revisão.

Esses registros foram organizados no *Mendeley*⁶ em pastas separadas por bases auxiliando-nos na identificação de duplicatas. No entanto, a identificação e exclusão das

⁶ O Mendeley é uma ferramenta de gerenciamento de referências que simplifica o armazenamento, organização, anotação, compartilhamento e citação de referências e dados de pesquisa. Possibilita a gestão de arquivos eletrônicos em formato PDF e oferece a conveniência da normalização de citações e referências, geradas automaticamente.

duplicatas foi realizada de forma não automatizada, por meio da elaboração de um quadro contendo os artigos admitidos para a etapa de triagem no fluxograma PRISMA.

Iniciamos a leitura na íntegra dos artigos selecionados com a finalidade de identificar e extrair aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso das tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática, em consonância com objetivo traçado. Salientamos que nesta etapa, é possível que estudos sejam excluídos da revisão por não atenderem aos critérios de inclusão.

Avaliação de risco de viés (qualidade)

Nesta fase, os estudos foram avaliados por revisores de modo individual a fim de averiguar a qualidade e consistência metodológica das pesquisas. No caso de divergências, um outro revisor deveria ser consultado, o que não ocorreu em nossa busca. Assim, nesta etapa, a avaliação de riscos de viés foi conduzida por meio de orientações individuais, envolvendo o orientador e o coorientador e de forma conjunta na apresentação de seminários de pesquisa e nas reuniões realizadas no grupo de estudos.

Estratégia para síntese de dados

A estratégia para a síntese de dados constituiu-se da extração narrativa dos dados mediante a utilização de uma ficha de categorização elaborada especificamente para a extração desses dados, com o objetivo de identificar os aspectos conceituais e metodológicos das perspectivas de uso das tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de matemática.

Prosseguindo com a explanação acerca dos estudos que tratam do emprego de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem da matemática, mostraremos os resultados obtidos a partir do protocolo de pesquisa de nosso estudo bibliográfico.

Nesse sentido, a fim de oferecer uma visão geral dos estudos selecionados, organizamos o Tabela 1 a seguir, que traz as Bases/Fontes pesquisadas, a quantidade de artigos inicialmente encontrados e o número final de artigos selecionados para compor nosso corpus de análise.

Destacamos que a busca foi direcionada prioritariamente a artigos científicos, uma vez que compreendemos que esses textos, em geral, representam versões consolidadas e revisadas de investigações acadêmicas, frequentemente submetidas à avaliação por pares. Essa opção não exclui a relevância de dissertações e teses, porém reflete a intenção de reunir produções que, por sua natureza, costumam circular com maior fluidez e objetividade na divulgação dos resultados e contribuições das pesquisas, o que favorece a análise comparativa e a síntese de evidências no contexto de um estudo bibliográfico.

Tabela 1: Síntese da quantidade de artigos por Bases/Fontes

Bases/ Fontes	Quantidade de artigos encontrados	Quantidade de artigos selecionados
CAPES/MEC	105	9
ScieLo	11	2
ERIC	36	9
Total		20

Fonte: Os autores.

O Quadro 2 a seguir reúne os 20 artigos selecionados nas referidas bases de dados consultadas, apresentando o título (em inglês e/ou português), os autores, o periódico de publicação e o respectivo ano de divulgação.

Quadro 2: Artigos obtidos no Portal de Periódicos da CAPES/ME, SciELO e ERIC

CAPES/MEC - Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior/Ministério da Educação e Cultura			
Nº	Título: Inglês/Português	Autoria/Periódico	Ano
1	The impact of artificial intelligence and the future of ChatGPT for mathematics teaching and learning in schools and higher education - (O impacto da inteligência artificial e o futuro do ChatGPT para o ensino e aprendizagem da matemática nas escolas e no ensino superior)	Govender, Rajendran - Pythagoras - Journal of the Association for Mathematics Education of South Africa ISSN: (Online) 2223-7895, (Print) 1012-2346	2023
2	ChatGPT: A revolutionary tool for teaching and learning mathematics (ChatGPT: Uma ferramenta revolucionária para ensinar e aprender matemática)	Wardat, Yousef ; Tashtoush, Mohammad A. ; AlAli, Rommel ; Jarrah, Adeb M. EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education, 2023, 19(7), em2286	2023
3	Impact of Teaching a Neuro-Computerized Course Through VLE to Develop Computational Thinking Among Mathematics Pre-service Teachers - (Impacto do ensino de um curso neuroinformatizado por meio de AVA para desenvolver o pensamento computacional entre professores em formação em matemática)	Abouelenein, Yousri Attia Mohamed ; Nagy Elmaadaway, Mohamed Ali Revista de Pesquisa em Computação Educacional	2023
4	Teaching Mathematics Integrating Intelligent Tutoring Systems: Investigating Prospective Teachers' Concerns and TPACK (Ensino de matemática integrando sistemas de tutoria inteligentes: investigando as preocupações dos futuros professores e TPACK)	Shin, Dongjo / International Journal of Science and Mathematics Education (2022) 20:1659-1676 https://doi.org/10.1007/s10763-021-10221-x	2022
5	Study of the Reform of College Mathematics Blended Teaching Supported by Intelligent Technology (Estudo da reforma do ensino misto de matemática universitária apoiado em tecnologia inteligente)	Han, Xiaofeng Kumar, Akshi ; Akshi Kumar Xiaofeng Han, "Study of the Reform of College Mathematics Blended Teaching Supported by Intelligent Technology", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 2022, Article ID 9685652, 7 pages, 2022. https://doi.org/10.1155/2022/9685652	2022

Quadro 2: Artigos obtidos no Portal de Periódicos da CAPES/ME, SciELO e ERIC (cont.)

6	Study on OBE Teaching Concept in the Context of Deep Learning for the Construction of University Mathematics Microcourses -(Estudo sobre o conceito de ensino de EFC no contexto de aprendizagem profunda para a construção de microcursos universitários de matemática)	Qiao, Yan ; Fu, Haiming Kumar, Vijay; Vijay Kumar Hindawi - Computational Intelligence and Neuroscience Volume 2022, Article ID 6860842, 10 pages https://doi.org/10.1155/2022/6860842	2022
7	Contraste en la percepción sobre el uso de una plataforma virtual para la mejora de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas (Contraste na percepção do uso de uma plataforma virtual para melhorar o ensino e a aprendizagem da matemática)	García, Juan Luis Cabanillas; Catarreira, Sofía María Veríssimo; González, Ricardo Luengo Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação	2020
8	Innovative Teaching of Integration of Artificial Intelligence and University Mathematics in Big Data Environment - (Ensino Inovador da Integração entre Inteligência Artificial e Matemática Universitária em Ambiente de Big Data)	GAO, Shanshan. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, 2020. p. 012137. doi:10.1088/1757-99X/750/1/012137	2020
9	A proof environment for teaching mathematics - (Um ambiente de prova para o ensino de matemática)	Sommer, R ; Nuckols, G – 2004 – Journal of Automated Reasoning 32: 227–258, 2004 ©2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.	2004
SciELO - Scientific Electronic Library Online			
Nº	Título: Inglês/Português	Autoria/Periódico	Ano
1	O desafio das tecnologias de inteligência artificial na Educação: percepção e avaliação dos professores.	PARREIRA, Artur; LEHMANN, Lúcia; OLIVEIRA, Mariana. Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas em Educação Dez 2021, Volume 29 Nº 113 Páginas 975 – 999	2021
2	Semiformação e inteligência artificial no ensino.	CAMPOS, Luis Fernando Altenfelder de Arruda; LASTÓRIA, Luiz Antônio Calmon Nabuco. Pro-Posições 2020, Volume 31.	2020
ERIC - Education Resources Information Center			
Nº	Título: Inglês/Português	Autoria/Periódico	Ano
1	Revolutionizing Pre-Calculus Education: Photomath's Ai-Powered Mathematics Tutorship – (Revolucionando a Educação Pré-Cálculo: Tutoria de Matemática Alimentada por IA do Photomath)	CAPINDING, Andie Tangonan. Revolutionizing Pre-Calculus Education: Photomath's Ai-Powered Mathematics Tutorship. Problems of Education in the 21st Century, v. 81, n. 6, p. 758-7775, 2023. (Problemas da Educação no Século 21)	2023

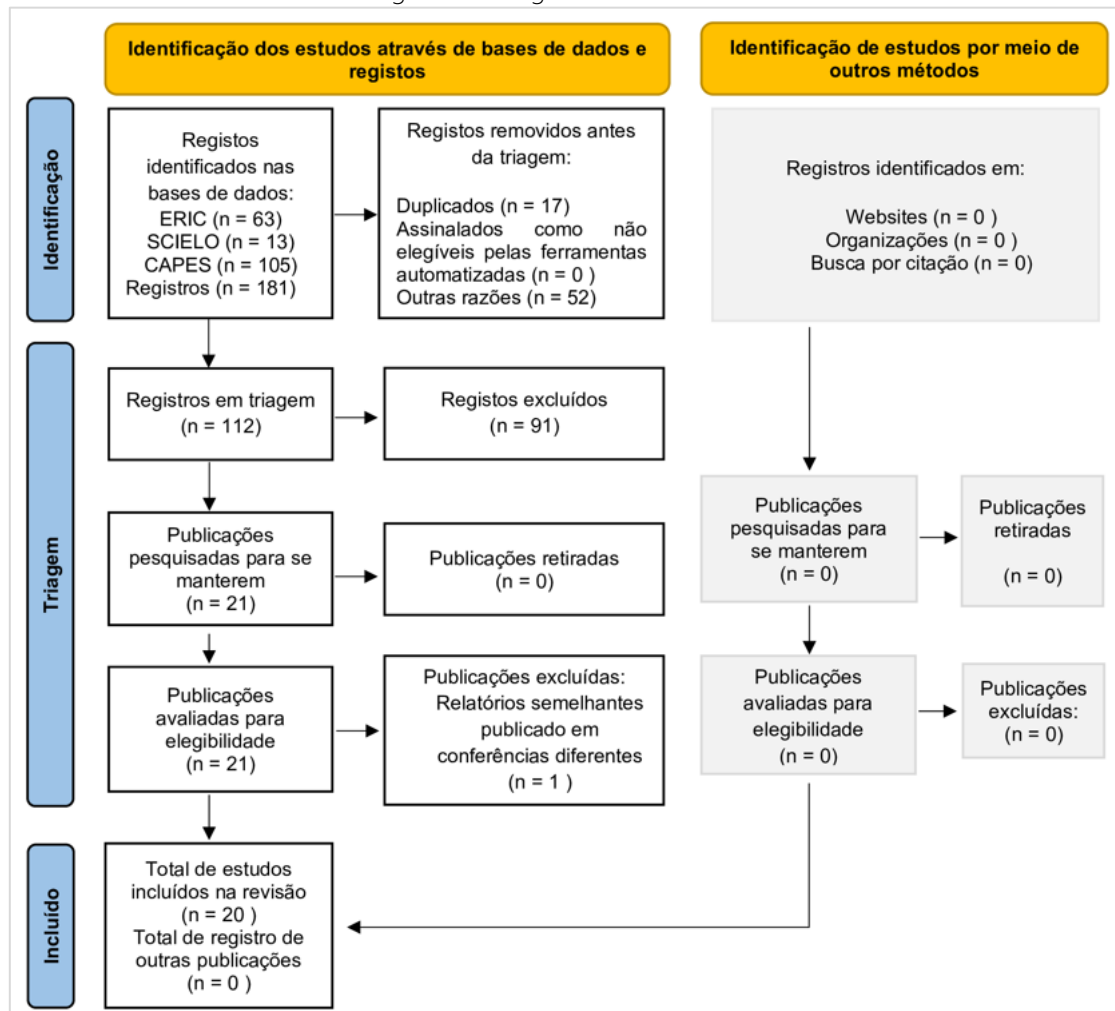
Quadro 2: Artigos obtidos no Portal de Periódicos da CAPES/ME, SciElo e ERIC (cont.)

2	Transitions between Domains of Activity as "Domestications of the Eye" for the Learning of Mathematics with GGBot – (Transições entre Domínios de Atividade como "Domesticações do Olho" para a Aprendizagem da Matemática com o GGBot)	DEL ZOZZO, Inês; SANTI, George; Digital Experiences in Mathematics Education (Experiências Digitais em Educação Matemática.)	2023
3	Indonesian Students' Perceptions towards AI-Based Learning in Mathematics – (Percepções de estudantes indonésios em relação à aprendizagem baseada em IA em matemática)	SOESANTO, Roberto; DIRGANTORO, Kurnia Putri Sepdikasari; PRIYANTIM, Neng; Journal on Mathematics Education. (Revista de Educação Matemática.)	2022
4	Application of Mathematical and Machine Learning Techniques to Analyse Eye Tracking Data Enabling Better Understanding of Children's Visual Cognitive Behaviours – (Aplicação de técnicas matemáticas e de aprendizado de máquina para analisar dados de rastreamento ocular permitindo uma melhor compreensão dos comportamentos cognitivos visuais das crianças)	MORENO, Estevaa, GARCIA, Enrique; BRANCO, Sônia L. J.; OLIVEIRA, Joana M.; BLACK, Alex A; Frontline Learning Research (Pesquisa de Aprendizagem de Linha de Frente)	2018
5	Designing a Teachable Agent System for Mathematics Learning – (Projetando um Sistema de Agente Ensinável para Aprendizagem de Matemática)	SONG, Donggil; Contemporary Educational Technology (Tecnologia Educacional Contemporânea)	2017
6	Using Neural Network and Logistic Regression Analysis to Predict Prospective Mathematics Teachers' Academic Success upon Entering Graduate Education – (Usando Redes Neurais e Análise de Regressão Logística para Predizer o Sucesso Acadêmico de Futuros Professores de Matemática ao Ingressar na Pós-Graduação)	BAHADIR, Elif; Educational Sciences: Theory and Practice (Ciências da Educação: Teoria e Prática)	2016
7	MATHESES: An Intelligent Web-Based Algebra Tutoring School – (MATESE: Uma Escola Inteligente de Álgebra Baseada na Web)	SKLAVAKIS, Dimitrios; REFANIDIS, Ioannis. International Journal of Artificial Intelligence in Education (Revista Internacional de Inteligência Artificial na Educação.)	2013
8	Using an Intelligent Tutor and Math Fluency Training to Improve Math Performance – (Usando um tutor inteligente e treinamento de fluência em matemática para melhorar o desempenho matemático)	ARROYO, Ivon; Oliveira, FÁBIO M.; WOOLF, Beverly P.; International Journal of Artificial Intelligence in Education (Revista Internacional de Inteligência Artificial na Educação)	2011
9	Determining Difficulty of Questions in Intelligent Tutoring Systems – (Determinando a Dificuldade das Questões em Sistemas Inteligentes de Tutoria)	GUNEL, Korhan; ASLIYAN, Rifat; Turkish Online Journal of Educational Technology (Jornal Online Turco de Tecnologia Educacional – TOJET)	2009

Fonte: Produzido pelos autores.

Com base nos estudos selecionados com base na estratégia POT e segundo as diretrizes do protocolo de pesquisa adotado, a Figura 1 apresenta o fluxograma PRISMA 2020. Esse fluxograma permite visualizar, de forma clara e organizada, os diferentes movimentos do processo de seleção, culminando na identificação do total de estudos incluídos na revisão.

Figura 1: Fluxograma PRISMA 2020



Fonte: Os autores.

A sistematização do estudo bibliográfico, conduzida conforme as etapas previstas no protocolo adotado, resultou na seleção de 20 artigos previamente mencionados, todos vinculados à aplicação de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática.

A leitura e análise desses trabalhos permitiram identificar pontos de convergência com os objetivos da presente pesquisa, cujas contribuições, consideradas relevantes para o aprofundamento do estudo, serão discutidas a seguir.

Resultados

A revisão sistemática permitiu reunir e analisar vinte estudos que investigam o uso de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática, revelando um campo em expansão, diverso em metodologias, tecnologias e níveis de ensino. Os resultados foram

organizados em quatro dimensões: caracterização dos estudos selecionados; tecnologias de IA identificadas; aplicações pedagógicas no ensino e aprendizagem de Matemática; e mapeamento das POT, complementadas pela análise das lacunas e oportunidades de pesquisa. A seguir, apresenta-se cada eixo em maior profundidade.

Caracterização dos estudos selecionados

Os estudos analisados distribuem-se em um intervalo temporal que vai de 2004 a 2023, evidenciando que a discussão sobre IA no ensino de Matemática já possui duas décadas de desenvolvimento, embora tenha ganhado densidade e visibilidade sobretudo nos últimos cinco anos. As bases que mais contribuíram para a composição do corpus foram ERIC e Portal CAPES/MEC, demonstrando o papel central desses repositórios no armazenamento de pesquisas sobre tecnologias educacionais. Conforme sintetizado anteriormente no Quadro 2 (Síntese da quantidade de artigos por Bases/Fontes) e no Quadro 3 (Artigos obtidos nas bases pesquisadas), a busca inicial identificou 152 registros, dos quais apenas 20 atenderam integralmente aos critérios de inclusão previamente estabelecidos.

A diversidade geográfica dos estudos demonstra o interesse internacional pelo tema. Pesquisas oriundas da China, Coreia do Sul, Indonésia e Filipinas evidenciam forte presença de países asiáticos na liderança de investigações envolvendo IA, especialmente em áreas relacionadas ao ensino superior e às práticas computacionais. Estudos norte-americanos destacam-se por explorar tecnologias de tutoria inteligente e modelos adaptativos, como os trabalhos de Arroyo, Woolf e Royer (2011) e Moreno-Esteva et al. (2018). As produções europeias concentram-se em ambientes formais de demonstração e modelagem algébrica, como no estudo de Sommer e Nuckols (2004). Na América do Sul, destacam-se contribuições brasileiras e portuguesas que problematizam percepções docentes, impactos éticos e repercussões pedagógicas de sistemas de IA, como nos trabalhos de Parreira *et al.* (2021) e Campos e Lastória (2020).

Metodologicamente, os estudos variam desde delineamentos experimentais rigorosos, como os de Arroyo *et al.* (2011), até análises qualitativas aprofundadas, como as de Del Zozzo e Santi (2023), passando por investigações de percepção discente (Soesanto *et al.*, 2022), desenvolvimento de sistemas computacionais (Sklavakis; Refanidis, 2013) e estudos teóricos críticos (Campos; Lastória, 2020). Essa variedade confirma o que Page *et al.* (2021) argumentam ao afirmar que revisões sistemáticas são especialmente úteis em campos emergentes “nos quais a heterogeneidade metodológica é tanto um sintoma quanto um motor do desenvolvimento científico” (Page *et al.*, 2021, p. 3).

Tecnologias de IA identificadas

A análise revelou grande diversidade de tecnologias de IA voltadas ao ensino e aprendizagem de Matemática, demonstrando a pluralidade de enfoques e funcionalidades presentes no campo. Os sistemas tutores inteligentes (STI) são a categoria mais recorrente nos estudos. Tecnologias como MATHia, ALEKS e MATHESIS foram projetadas para avaliar continuamente o desempenho do estudante, identificar padrões de erro, adaptar a dificuldade das tarefas e fornecer feedback contextualizado. Sklavakis e Refanidis (2013) demonstram que o MATHESIS ajusta automaticamente as intervenções pedagógicas com base em modelos probabilísticos do conhecimento do aluno, enquanto Günel e Aşlıyan (2009)

propõem o uso de equações diferenciais para calibrar o nível de dificuldade das questões, modelando seu comportamento em função do número de acertos e erros.

Além dos STI, destaca-se o uso crescente de modelos de linguagem natural, como o ChatGPT, capazes de interpretar perguntas, gerar respostas explicativas e construir exemplos matemáticos. Govender (2023) argumenta que modelos generativos “podem funcionar como mediadores linguísticos para apoiar o raciocínio matemático, desde que utilizados com orientação pedagógica adequada” (Govender, 2023, p. 5). Wardat *et al.* (2023) reforçam que esse tipo de tecnologia amplia a capacidade de exploração de estratégias múltiplas, contribuindo para o desenvolvimento de raciocínio e metacognição.

Os estudos também evidenciam o uso de algoritmos de *machine learning*, aplicados tanto para análise de dados cognitivos quanto para previsão de desempenho. Em Moreno-Esteva *et al.* (2018), modelos de classificação probabilística são utilizados para identificar padrões de atenção visual em atividades com gráficos, enquanto Bahadır (2016) usa redes neurais para prever a probabilidade de sucesso acadêmico de futuros professores de Matemática, demonstrando elevada acurácia dos modelos computacionais.

Outras tecnologias identificadas incluem agentes ensináveis, como o sistema EnTAM (Song, 2017), que explora a pedagogia do *aprender-ensinando*, permitindo ao estudante construir e testar conhecimentos ao instruir um agente virtual. Tecnologias físico-digitais, como o robô educacional GGBot, analisado por Del Zozzo e Santi (2023), demonstram que a IA também pode assumir formas concretas e interativas, favorecendo experiências sensório-motoras, perceptivas e investigativas em Matemática. Ambientes baseados em big data também são reportados, especialmente no ensino superior, como nos estudos de Gao (2020) e Han *et al.* (2022), que utilizam dados de larga escala para personalizar microcursos e redefinir práticas pedagógicas.

Essa pluralidade evidencia que a IA está presente tanto em ambientes de automatização, quanto em tecnologias voltadas à criatividade e à reorganização cognitiva, reafirmando sua natureza multifacetada e seu potencial para transformar diferentes dimensões do ensino de Matemática.

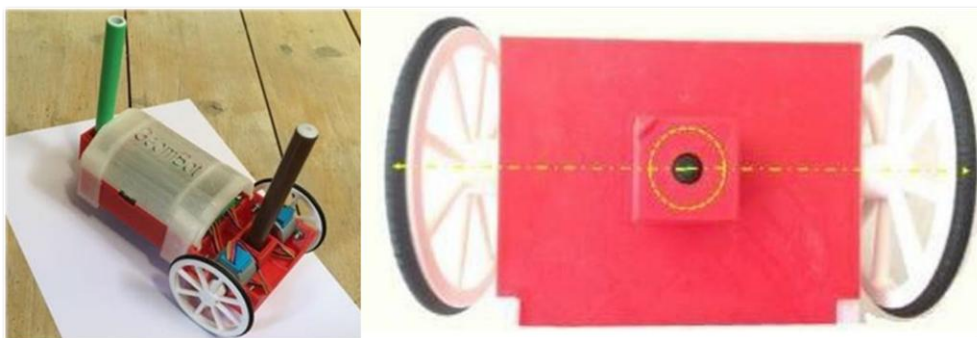
Aplicações no Ensino e Aprendizagem de Matemática

As aplicações das tecnologias de IA nos estudos analisados apontam para mudanças significativas na natureza das práticas de ensino e aprendizagem. Um dos efeitos mais recorrentes diz respeito à personalização da aprendizagem, presente em estudos que demonstram como sistemas adaptativos ajustam tarefas para atender às necessidades específicas dos estudantes. Sklavakis e Refanidis (2013) mostram que ajustes automáticos na dificuldade dos exercícios resultam em maior aderência aos percursos individuais de aprendizagem, enquanto Arroyo, Woolf e Royer (2011) indicam que tutores inteligentes potencializam tanto o desempenho conceitual quanto a fluência operacional dos estudantes.

A mediação investigativa da IA também se destaca, especialmente em tecnologias que promovem reorganização perceptiva ou raciocínio reflexivo. No estudo de Del Zozzo e Santi (2023), a interação com o GGBot evidencia que robôs educacionais podem provocar transições entre domínios de atividade e reorganizar o olhar matemático, contribuindo para o desenvolvimento de habilidades espaciais e geométricas.

Esse resultado encontra ressonância no trabalho de Moreno-Esteva *et al.* (2018), em que o rastreamento ocular revela a importância de guiar o olhar do estudante para elementos críticos da tarefa matemática, reforçando o caráter cognitivo e perceptivo da aprendizagem.

Figura 2: Robô de desenho – GGBot



Fonte: Adaptado de Del Zozzo e Santi (2023, p. 378).

Modelos de linguagem também desempenham papel relevante nas práticas pedagógicas. Govender (2023) destaca que ferramentas como ChatGPT favorecem esclarecimento imediato de dúvidas, construção de explicações passo a passo e ampliação do repertório de estratégias matemáticas. Wardat *et al.* (2023) reforçam esse ponto ao demonstrar que professores percebem tais ferramentas como apoio relevante tanto para o planejamento de aulas quanto para a criação de tarefas e exercícios diferenciados.

A aprendizagem ativa e autônoma aparece como tendência, especialmente em ambientes que simulam interações mais sofisticadas ou permitem a manipulação simbólica direta, como no sistema EnTAM apresentado por Song (2017). Tais tecnologias encorajam os estudantes a assumir papel mais autoral, incentivando a reflexão, a revisão de estratégias e o engajamento com a estrutura matemática dos problemas.

Em síntese, as aplicações da IA ampliam a aprendizagem, intensificam processos investigativos, favorecem autonomia e criam condições para um ensino de Matemática mais responsivo, dinâmico e sensível às necessidades individuais.

Mapeamento das POT nas pesquisas

A análise dos estudos à luz da estratégia POT permitiu compreender tendências conceituais e metodológicas relevantes. No que concerne à População, observa-se predominância de investigações voltadas a estudantes do ensino básico e superior, enquanto pesquisas centradas em professores, seja em formação inicial ou continuada, são significativamente menos frequentes. Essa lacuna é particularmente relevante, uma vez que, como destaca Shin (2022), a apropriação crítica das tecnologias emergentes depende fortemente da formação docente e da integração entre saberes tecnológicos, pedagógicos e matemáticos.

Quanto ao *Outcome*, os estudos convergem para quatro eixos principais. O primeiro refere-se ao fortalecimento da compreensão conceitual, evidenciado em pesquisas como as de Wardat *et al.* (2023) e Arroyo *et al.* (2011). O segundo diz respeito ao aumento da autonomia, confiança e engajamento dos estudantes, como discutido por Capinding (2023) e Song (2017). O terceiro envolve o apoio à prática docente, ampliando sua capacidade diagnóstica e instrucional, conforme sugerem Govender (2023) e Bahadır (2016). O quarto eixo refere-se à reorganização cognitiva e perceptiva, especialmente em ambientes sensorio-visuais, como demonstrado por Del Zozzo e Santi (2023) e Moreno-Esteva *et al.* (2018).

Em relação aos Tipos de estudo, observa-se forte heterogeneidade metodológica, com predominância de pesquisas empíricas experimentais e estudos de desenvolvimento tecnológico, bem como análises qualitativas que investigam aspectos fenomenológicos da aprendizagem. Essa diversidade metodológica reforça que a IA é um campo interdisciplinar e multifacetado, cuja compreensão exige múltiplas abordagens teóricas e empíricas.

Lacunas e oportunidades de pesquisa

A análise final permitiu identificar importantes lacunas. A primeira diz respeito à escassez de estudos voltados à formação de professores para uso crítico, ético e pedagógico da IA. Parreira *et al.* (2021) e Campos e Lastória (2020) alertam que a adoção indiscriminada de tecnologias pode reforçar práticas tecnicistas e reduzir a complexidade da ação docente, caso não seja acompanhada de reflexão epistemológica e ética.

Outra lacuna refere-se à ausência quase total de pesquisas que integrem IA aos referenciais da Didática da Matemática, especialmente no que se refere à Teoria Antropológica do Didático (TAD), à gênese instrumental ou à noção de praxeologia. Essa ausência é significativa, dado que tais referenciais oferecem ferramentas analíticas potentes para compreender como tecnologias reconfiguram tarefas, técnicas, tecnologias e teorias no processo de ensino.

Além disso, poucos estudos exploram o impacto da IA em contextos latino-americanos ou em realidades escolares marcadas por desigualdades. As oportunidades futuras incluem o desenvolvimento de ambientes híbridos que integrem IA generativa, softwares matemáticos especializados e práticas investigativas; pesquisas longitudinais que acompanhem os efeitos duradouros dessas tecnologias; e estudos centrados na formação docente em perspectiva crítica, colaborativa e situada.

Discussão

O mapeamento sistemático das pesquisas sobre a utilização de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem da matemática revela um cenário promissor e, ao mesmo tempo, desafiador. Os vinte artigos analisados, oriundos de bases como CAPES, SciELO e ERIC, oferecem evidências consistentes de que a IA pode favorecer experiências de aprendizagem personalizadas, ampliar o engajamento dos estudantes e contribuir para o desenvolvimento de competências cognitivas diversas. Entretanto, também emergem preocupações éticas, pedagógicas e estruturais, especialmente no que se refere à formação de professores e ao uso crítico dessas tecnologias em contextos educacionais.

Uma convergência marcante nos estudos é o reconhecimento do potencial da IA na personalização do ensino. Ferramentas como o ChatGPT, tutores inteligentes e sistemas baseados em análise de dados em tempo real mostram-se capazes de adaptar a instrução ao ritmo, estilo e necessidades de cada estudante. Trabalhos como os de Govender (2023), Wardat *et al.* (2023) e Günel & Aşlıyan (2009) destacam esse aspecto, ao apresentarem evidências de melhoria no desempenho e no engajamento quando os alunos interagem com sistemas que ajustam dinamicamente a dificuldade das tarefas e oferecem *feedbacks* contextualizados.

Além da personalização, os estudos enfatizam ainda, o protagonismo do aluno como sujeito ativo na construção do conhecimento. Em propostas como a de Song (2017), que

desenvolveu um agente ensinável com base na pedagogia de aprender-ensinando, ou no GGBot explorado por Del Zozzo & Santi (2023), nota-se a valorização de estratégias que incentivam o estudante a refletir, revisar e organizar seu raciocínio matemático. Essas experiências dialogam com abordagens investigativas e com o ideal de uma aprendizagem que não apenas transmite, mas provoca reorganizações cognitivas significativas.

Estudos baseados em análise visual, como o de Moreno-Esteva *et al.* (2018), reforçam essa ideia ao utilizarem tecnologias como *eye tracking* e aprendizado de máquina para mapear padrões de atenção e inferir estratégias de leitura em gráficos matemáticos. A articulação entre percepção visual e compreensão conceitual contribui para repensar o ensino da matemática a partir de uma perspectiva mais sensível às trajetórias visuais, cognitivas e afetivas dos aprendizes. Tais contribuições são especialmente relevantes para o ensino de Geometria, em que o olhar e a compreensão espacial desempenham papel fundamental.

Nesse sentido, além dos aspectos relacionados às implicações cognitivas da IA para a aprendizagem matemática é necessário considerar outros aspectos relevantes decorrentes dessas investigações. Os estudos de Del Zozzo e Santi (2023) e Moreno-Esteva *et al.* (2018) mostram que tecnologias sensório-visuais e algoritmos de análise de padrões podem reorganizar o olhar e a percepção matemática, ampliando modos de interpretar fenômenos gráficos, geométricos ou algébricos podendo influenciar a adoção de novas estratégias de ensino.

Do ponto de vista da Didática da Matemática, esse movimento pode ser interpretado como reestruturação das praxeologias escolares, uma vez que modificam as técnicas e os modos de significação que sustentam o saber matemático. Embora poucos estudos analisados utilizem referenciais da didática francesa, suas conclusões dialogam com o que Chevallard (1999) aponta ao afirmar que novas tecnologias podem reformular ecologias didáticas e alterar os regimes de circulação dos saberes.

Outra convergência importante refere-se ao reconhecimento da presença docente como indispensável, mesmo em contextos mediados por IA. Estudos de percepção como os de Soesanto *et al.* (2022) e Capinding (2023) indicam que os estudantes valorizam a mediação humana, principalmente quando enfrentam dúvidas conceituais ou necessitam de orientação mais aprofundada. A tecnologia, nesses casos, atua como extensão do ambiente de aprendizagem, mas não substitui o papel formativo do professor.

No que se refere às lacunas identificadas, nota-se que há uma escassez de pesquisas voltadas à análise do papel dos professores em processos de formação inicial e continuada diante das demandas impostas pela utilização da IA. A maioria concentra-se no desempenho discente ou na eficácia técnica dos sistemas desenvolvidos. Essa ausência é significativa, sobretudo diante dos desafios apontados por Shin (2022) e Parreira *et al.* (2021), que destacam a urgência de oferecer formação adequada aos professores, de modo que possam utilizar essas ferramentas com autonomia crítica. Campos e Lastória (2020) também alertam para a necessidade de discutir os fundamentos éticos do uso da IA, de modo a prevenir processos de esvaziamento do papel docente.

Dessa perspectiva, a questão da formação docente configura-se como a principal lacuna, revelando-se significativa e preocupante. O conjunto dos estudos analisados revela que há pouco investimento em pesquisas que examinem como professores se apropriam criticamente da IA, como constroem novas praxeologias docentes mediadas por tecnologia ou como desenvolvem competências para avaliar pedagogicamente sistemas algorítmicos. Essa ausência corrobora o diagnóstico de Parreira *et al.* (2021), para quem a adoção acrítica

de tecnologias pode deslocar a ação docente para uma posição instrumentalizada, reduzindo o papel do professor a executor de recomendações tecnológicas.

Campos e Lastória (2020) vão além e alertam para os riscos de um uso tecnicista da IA na educação. Segundo os autores, quando a IA é aplicada sem reflexão pedagógica, há o perigo de reduzir a complexidade da experiência formativa a processos meramente operacionais ou instrumentais. Esse tipo de abordagem, ao priorizar o desempenho e a eficiência em detrimento da reflexão e do juízo crítico, pode reforçar aquilo que o filósofo Theodor W. Adorno chamou de semiformação: uma forma de educação que transmite técnicas e informações, mas não promove autonomia, pensamento crítico ou sensibilidade ética.

Ao lado desses avanços, os estudos também revelam divergências. Parte das investigações, como a de Bahadır (2016), prioriza a automatização de procedimentos e a predição de desempenho por meio de redes neurais e regressão logística. Outras, como as de Del Zozzo & Santi (2023) ou Parreira *et al.* (2021), centram-se no papel da IA como mediadora de processos investigativos e reflexivos. Essa tensão entre IA como ferramenta de treino e IA como catalisadora de pensamento matemático ilustra diferentes concepções de aprendizagem e de prática docente.

Outra lacuna importante refere-se à quase total ausência de articulação entre os estudos empíricos sobre IA e os referenciais da Didática da Matemática. Nenhum dos artigos revisados mobiliza explicitamente categorias como praxeologia, topogênese ou gênese instrumental. Ainda que alguns trabalhos apresentem práticas alinhadas com abordagens investigativas (como os de Del Zozzo & Santi ou Moreno-Esteva *et al.*), a maioria permanece ancorada em perspectivas mais instrucionistas ou tecnológicas, sem aprofundar as implicações didáticas da reorganização do saber escolar mediada por IA. Essas conclusões podem servir de base para orientar iniciativas que promovam a articulação entre o uso de tecnologias de inteligência artificial e os Percursos de Estudo e Pesquisa (PEP) dentro do escopo da Teoria Antropológica do Didático (TAD).

Com base nas contribuições de autores como Govender (2023), Wardat *et al.* (2023) e Shin (2022), é possível afirmar que a IA pode ser empregada para oferecer *feedback* imediato, apoio à resolução de tarefas, personalização do conteúdo e estímulo à aprendizagem ativa. No entanto, conforme Campos e Lastória (2020) e Parreira *et al.* (2021), esses benefícios somente se concretizam quando acompanhados de formação docente continuada que promova um uso crítico, ético e reflexivo dessas ferramentas.

Os estudos de Han & Kumar (2022) e García *et al.* (2020) também reforçam a importância de considerar os contextos socioculturais e institucionais em que essas tecnologias são implementadas. Tais autores sugerem que a variação nas percepções e experiências dos professores deve ser considerada desde o início da intervenção. Por isso, propomos a realização de uma diagnose inicial no PEP, voltada à identificação dos conhecimentos prévios, expectativas e práticas dos participantes, o que permitirá alinhar as atividades às reais necessidades do grupo.

Apesar desses desafios, os resultados da revisão apontam para importantes implicações positivas. A IA mostra-se potente para promover aprendizagem personalizada, apoiar estudantes em dificuldades, desenvolver pensamento computacional, ampliar repertórios investigativos e fortalecer experiências multimodais. Esses benefícios potencializam discussões contemporâneas sobre personalização, cultura digital e equidade no ensino de Matemática,

indicando que a IA pode contribuir para reduzir desigualdades de aprendizagem, desde que utilizada com intencionalidade pedagógica explícita.

Contudo, é fundamental destacar que tais potencialidades só se concretizam quando integradas a práticas docentes reflexivas. Como defende Shin (2022), a IA não revoluciona o ensino por si só; ela depende da mediação humana, da cultura escolar e da formação do professor para produzir efeitos significativos. Portanto, a discussão central que emerge desta revisão não é se a IA deve ou não ser utilizada, mas como, por quem e com quais objetivos pedagógicos ela pode transformar a aprendizagem matemática.

A partir dos achados, torna-se evidente que pesquisas futuras devem explorar: (a) articulações entre IA e referenciais da Didática da Matemática, especialmente a Teoria Antropológica do Didático e a gênese instrumental; (b) investigações sobre formação docente crítica e situada; (c) estudos longitudinais que analisem efeitos de médio e longo prazo; e (d) impactos da IA em contextos latino-americanos, marcados por desigualdades sociotécnicas. Essas direções podem contribuir para um campo de pesquisa mais robusto, sensível às questões epistemológicas e atento às transformações promovidas pelas tecnologias emergentes.

Considerações finais

O presente mapeamento sistemático permitiu mapear o estado da arte sobre o uso de tecnologias de IA no ensino e na aprendizagem de Matemática, articulando a estratégia POT e o protocolo PRISMA 2020. Os resultados evidenciam que a IA tem desempenhado um papel crescente na reorganização de práticas pedagógicas, oferecendo recursos que ampliam possibilidades de personalização, acompanhamento contínuo, mediação investigativa e desenvolvimento de competências matemáticas. Constatou-se que sistemas tutores inteligentes, modelos de linguagem natural, agentes ensináveis, robôs educacionais e algoritmos de *machine learning* têm potencial para enriquecer processos formativos, promover engajamento e favorecer aprendizagem ativa, o que converge com a visão de Holmes *et al.* (2022), segundo a qual a IA atua como suporte dinâmico capaz de recompor trajetórias de aprendizagem de maneira adaptativa.

Ao mesmo tempo, ficou evidente que o uso dessas tecnologias não se realiza automaticamente nem de maneira neutra. Os resultados do estudo demonstram que ainda há fragilidades importantes no campo, sobretudo no que diz respeito à formação docente, à compreensão crítica das implicações éticas da IA e à ausência de fundamentação didática consistente em muitas das investigações analisadas. Como alertam Campos e Lastória (2020), a adoção acrítica de tecnologias pode reforçar racionalidades tecnicistas e reduzir a complexidade da ação educativa, deslocando o professor para uma posição de executor de recomendações algorítmicas. Essa constatação revela que a IA, mais do que uma ferramenta, constitui um artefato que reconfigura significações, práticas e modos de interação com o saber matemático.

A principal contribuição deste estudo reside na sistematização rigorosa e transparente das evidências disponíveis sobre IA na Educação Matemática, evidenciando tendências, lacunas e oportunidades de aprofundamento. A estratégia POT associada ao PRISMA 2020 permitiu organizar e interpretar um campo ainda fragmentado, oferecendo um panorama sobre aplicações emergentes, avanços metodológicos e limitações persistentes. Destaca-se que, enquanto as pesquisas internacionais avançam no desenvolvimento de tecnologias

adaptativas e na exploração de potencialidades da IA para o ensino, ainda são incipientes as investigações que tratam da formação docente, dos impactos éticos e epistemológicos e das condições reais de implementação em contextos educacionais diversos.

Os achados também indicam que futuras pesquisas precisam investir na articulação entre IA e referenciais da Didática da Matemática, como a Teoria Antropológica do Didático (CHEVALLARD, 1999) e a gênese instrumental (RABARDEL, 1995), que podem oferecer bases para compreender como tecnologias emergentes reorganizam tarefas, técnicas, tecnologias e teorias no processo de ensino. Outro caminho promissor consiste em aprofundar estudos sobre formação de professores, reconhecendo que o sucesso da integração da IA depende da capacidade docente de atribuir sentido pedagógico, ético e epistemológico a essas ferramentas, como enfatiza Shin (2022). Além disso, torna-se necessário desenvolver pesquisas que considerem desigualdades sociotécnicas, especialmente em contextos latino-americanos, ampliando o diálogo entre tecnologia, equidade e políticas educacionais.

Por fim, destaca-se a necessidade de estudos longitudinais que avaliem efeitos de médio e longo prazo do uso de IA na aprendizagem matemática, uma vez que grande parte das pesquisas analisadas limita-se a intervenções pontuais ou análises de curto prazo. Apenas investigações contínuas poderão revelar impactos mais profundos da IA na constituição de saberes matemáticos, no desenvolvimento da autonomia discente e na evolução das práticas docentes.

Desse modo, conclui-se que a IA apresenta potencial significativo para contribuir com um ensino de Matemática mais dinâmico, personalizado e investigativo, mas sua efetivação exige reflexão crítica, fundamentos teóricos sólidos, atenção às condições educativas e compromisso com a formação docente. O avanço desse campo dependerá, portanto, da articulação entre inovação tecnológica, pesquisa científica e responsabilidade pedagógica.

Referências

- ABOUELENEIN, Y.; ELMAADAWAY, M. Artificial intelligence and computational thinking in mathematics education: an integrated approach. *Education and Information Technologies*, 2023.
- ARROYO, I.; ROYER, J.; WOOLF, B. Improving math learning through intelligent tutoring and math fluency training. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, v. 21, n. 1–2, p. 135-152, 2011.
- BAHADIR, E. Using artificial neural networks for prediction of mathematics achievement: input from cognitive and affective variables. *Education and Science*, v. 41, n. 183, p. 41-57, 2016.
- BONADIMAN BERTOL, Daniel *et al.* Uso de tecnologias digitais no ensino de matemática para alunos com transtorno do espectro autista (TEA): uma revisão sistemática. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, Belém, v. 21, n. 47, p. 19-39, out. 2025. ISSN 2317-5125. Disponível em: <<https://periodicos.ufpa.br/index.php/revistaamazonia/article/view/17370/12841>>. Acesso em: 08 jan. 2026. doi:<http://dx.doi.org/10.18542/amazrecm.v21i46.17370>.
- CAMPOS, M. M.; LASTÓRIA, R. C. R. Tecnologias digitais, educação e semiformação: problematizações a partir de Adorno. *Educação e Pesquisa*, v. 46, e223517, 2020.

CAPINDING, A. T. Enhancing students' mathematical dispositions through AI-supported inquiry. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, v. 22, n. 2, p. 18-35, 2023.

CHEVALLARD, Y. L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. In: *Recherches en Didactique des Mathématiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage, 1999.

DEL ZOZZO, A.; SANTI, G. R. Learning geometry with GGBot: perceptual reorganizations in a robotic environment. *Digital Experiences in Mathematics Education*, v. 9, p. 67-89, 2023.

GAO, J. Exploring the integration of big data technologies in college mathematics teaching. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, v. 8, p. 1-10, 2020.

GARCÍA, J.; CATARREIRA, Sofia María Veríssimo; GONZÁLEZ, Ricardo Luengo. Contraste en la percepción sobre el uso de una plataforma virtual para la mejora de la enseñanza y aprendizaje de las matemáticas. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, n. 38, p. 33-47, 2020.

GOVENDER, R. The impact of artificial intelligence and the future of ChatGPT for mathematics teaching and learning in schools and higher education. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, v. 27, n. 1, p. 1-15, 2023.

GÜNEL, A.; AŞLIYAN, R. A dynamic difficulty adjustment model using differential equations in intelligent tutoring systems. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, v. 1, p. 729-733, 2009.

HAN, X. *et al.* Personalized mathematics micro-learning using AI-driven analytics. *Computers & Education: Artificial Intelligence*, v. 3, 2022.

Haddaway, N. R., Page, M. J., Pritchard, C. C., & McGuinness, L. A. (2022). PRISMA2020: An R package and Shiny app for producing PRISMA 2020-compliant flow diagrams, with interactivity for optimised digital transparency and Open Synthesis Campbell Systematic Reviews, 18, e1230. <https://doi.org/10.1002/cl2.1230>

HOLMES, W. *et al.* Artificial Intelligence in education: promises and implications for teaching and learning. Paris: OECD Publishing, 2022.

HOLMES, W.; TUOMI, I. State of the art and practice in artificial intelligence in education. Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2022. Disponível em: <https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10158374/1/Holmes%20and%20Tuomi%20-%202022%20-%20State%20of%20the%20art%20and%20practice%20in%20AI%20in%20education.pdf>. Acesso em: 09 jan. 2026.

KITCHENHAM, B.; CHARTERS, S. Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering. EBSE Technical Report, 2007.

MORENO-ESTEVA, E. *et al.* Eye-tracking and machine learning for analyzing students' interpretation of statistical graphs. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 16, p. 131-150, 2018.

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, v. 372, n. 71, p. 1-9, 2021.

PARREIRA, J. S. *et al.* Artificial intelligence in education: teacher knowledge, perceptions, and concerns. *Revista Brasileira de Informática na Educação*, v. 29, p. 67-90, 2021.

QIAO, Yan *et al.* Study on obe teaching concept in the context of deep learning for the construction of university mathematics microcourses. *Computational intelligence and neuroscience*, v. 2022, 2022.

RABARDEL, P. *Les hommes et les technologies: approche cognitive des instruments contemporains*. Paris: Armand Colin, 1995.

SANTOS, C. M. C.; PIMENTA, C. A. M.; NOBRE, M. R. C. A estratégia PICOT para a construção da pergunta de pesquisa e busca de evidências. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, v. 15, n. 3, p. 508-511, 2007.

SKLAVAKIS, D.; REFANIDIS, I. MATHESIS: an AI-driven tutor for personalized mathematics learning. *Educational Technology & Society*, v. 16, n. 2, p. 296-308, 2013.

SHIN, D. Pedagogical perspectives for integrating artificial intelligence into mathematics classrooms. *Educational Studies in Mathematics*, v. 110, p. 1-20, 2022.

SOESANTO, R.; DIRGANTORO, S.; PRIYANTI, I. Indonesian students' perceptions towards AI-based learning in mathematics. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, v. 17, n. 13, p. 153-167, 2022.

SOMMER, A.; NUCKOLS, G. Automated formal reasoning systems for teaching proof strategies. *Journal of Automated Reasoning*, v. 33, p. 1-25, 2004.

SONG, Y. Learning by teaching with AI-based teachable agents: effects on mathematical reasoning. *Computers & Education*, v. 108, p. 73-89, 2017.

WARDAT, Y. *et al.* Exploring mathematics teachers' perceptions of ChatGPT as an instructional assistant. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 2023.