

Perspectiva imersiva para o Ensino de Matemática: uma revisão sistemática de literatura

Immersive Perspective for Mathematics Education: A Systematic Literature Review

Perspectiva Inmersiva para la Enseñanza de Matemáticas: una Revisión Sistemática de la Literatura

Lana Priscila Souza^{●*}, Sandro César Silveira Jucá[●], Auzuir Ripardo de Alexandria[●]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), campus Fortaleza - CE, Brasil

Recibido:

14 de octubre, 2024

Aceptado:

23 de mayo, 2025

Publicado:

01 de diciembre, 2025

*Autor de

correspondencia

Lana Priscila Souza
Instituto Federal de
Educação, Ciência e
Tecnologia do Ceará
(IFCE), campus Fortaleza

Correo electrónico:

lanapriscilasouza@yahoo.com.br

Como citar:

Souza, L. P., Jucá, S. C. S., & Alexandria, A. R. de. (2025). Perspectiva imersiva para o Ensino de Matemática: uma revisão sistemática de literatura. *Revista De Estudos Y Experiencias En Educación*, 24(56), 37-60. <https://doi.org/10.21703/rexe.v24i56.2932>

RESUMO

Atualmente, as tecnologias imersivas proporcionam possibilidades de aplicação para todos os setores da sociedade. Na Educação, por sua vez, a inserção dessas tecnologias pode potencializar experiências mais interativas, principalmente em disciplinas de caráter teórico e abstrato como a Matemática. Assim, surge o questionamento: de que forma a perspectiva imersiva vem sendo empregada no ensino desta disciplina? Para responder a esta questão foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL), cujo objetivo foi compreender como a perspectiva imersiva vem sendo utilizada no Ensino de Matemática. Foram selecionados artigos publicados entre 2014 e 2023 das bases Portal de Periódicos da CAPES, *IEEE Xplore*, *SciELO*, *Web of Science*, *ERIC* e *Scopus*. Após a adoção de critérios de inclusão, exclusão, seleção, extração e qualidade, o número de artigos foi reduzido de 258 para 60. Os resultados mostram que os estudos abordam diferentes contextos educacionais, desde o Ensino Fundamental ao Superior. A maioria indica que as mídias imersivas são mais eficazes quando combinadas aos métodos tradicionais, solidificando conceitos por meio de múltiplas abordagens. No entanto, são mencionados desafios como o alto custo de equipamentos e a necessidade de formação docente. A RSL oferece uma visão mais profunda sobre o uso de tecnologias imersivas no ensino de Matemática, apontando áreas que ainda necessitam de investigação, com o intuito de promover uma adoção mais eficaz dessas ferramentas por educadores e pesquisadores.

PALAVRAS CHAVE

Mídias Imersivas; Ensino de Matemática; Revisão Sistemática de Literatura.

ABSTRACT

Currently, immersive technologies offer possibilities for application across all sectors of society. In Education, the integration of these technologies can enhance more interactive experiences, especially in subjects with a theoretical and abstract nature, such as Mathematics. This raises the question: how is the immersive perspective being applied in the teaching of this subject? To address this question, a Systematic Literature Review (SLR) was conducted with the objective of understanding how the immersive perspectives has been utilized in Mathematics Teaching. Articles published between 2014 and 2023 were selected from databases including the CAPES Periodicals Portal, IEEE Xplore, SciELO, Web of Science, ERIC, and Scopus databases. Following the application of inclusion, exclusion, selection, extraction, and quality criteria, the number of articles was reduced from 258 to 60. The results indicate that the studies cover various educational contexts, from Elementary to Higher Education. Most studies suggest that immersive media are more effective when combined with traditional methods, solidifying concepts through multiple approaches. However, challenges such as the high cost of equipment and the need for teacher training are mentioned. The SLR provides a deeper insight into the use of immersive technologies in Mathematics teaching, highlighting areas that still require investigation to promote a more effective adoption of these tools by educators and researchers.

KEYWORDS

Immersive Media; Mathematics Education; Systematic Literature Review.

RESUMEN

Actualmente, las tecnologías inmersivas ofrecen posibilidades de aplicación en todos los sectores de la sociedad. En la Educación, la inserción de estas tecnologías puede potenciar experiencias más interactivas, especialmente en disciplinas de carácter teórico y abstracto como las Matemáticas. Así, surge la pregunta: ¿de qué forma se está empleando la perspectiva inmersiva en la enseñanza de esta disciplina? Para responder a esta pregunta, se realizó una Revisión Sistemática de la Literatura (RSL), cuyo objetivo fue comprender cómo se ha utilizado la perspectiva inmersiva en la Enseñanza de las Matemáticas. Se seleccionaron artículos publicados entre 2014 y 2023 de las bases de datos Portal de Periódicos de CAPES, IEEE Xplore, SciELO, Web of Science, ERIC y Scopus. Tras la adopción de criterios de inclusión, exclusión, selección, extracción y calidad, el número de artículos se redujo de 258 a 60. Los resultados muestran que los estudios abordan diferentes contextos educativos, desde la Educación Primaria hasta la Superior. La mayoría indica que los medios inmersivos son más eficaces cuando se combinan con métodos tradicionales, solidificando conceptos a través de múltiples enfoques. Sin embargo, se mencionan desafíos como el alto costo de los equipos y la necesidad de formación docente. La RSL ofrece una comprensión más profunda sobre el uso de tecnologías inmersivas en la enseñanza de las Matemáticas y señala áreas que aún requieren investigación, con el fin de promover una adopción más eficaz de estas herramientas por parte de educadores e investigadores.

PALABRAS CLAVE

Medios Inmersivos; Enseñanza de Matemáticas; Revisión Sistemática de la Literatura.

1. Introdução¹

As possibilidades fomentadas pela evolução tecnológica reverberam em todos os segmentos da sociedade. No setor educacional, por exemplo, uma das repercussões foi, de acordo com Fernandez (2017), o surgimento das tecnologias de *Virtual Reality* (VR) e *Augmented Reality* (AR)². O autor atribui o sucesso das iniciativas educacionais com novas tecnologias à participação de quatro grupos de interessados: os estudantes, descritos como nativos digitais – ou seja, indivíduos já familiarizados com o uso da tecnologia no cotidiano e que são os principais destinatários das inovações tecnológicas; os docentes, que precisam ser capacitados para aplicar as novas ferramentas de forma eficaz em suas práticas pedagógicas; as instituições de ensino, que devem liderar a inovação tecnológica com compromisso na implementação estruturada e na formação contínua dos profissionais; e os fabricantes, que são fundamentais na disseminação dessas tecnologias, influenciando o mercado com seus dispositivos e aplicativos (Fernandez, 2017).

Diante dessa inserção na educação, foi atribuído à VR e à AR o potencial de proporcionar experiências mais interativas e envolventes. Para Fernandez (2017), o ponto central é entender que as tecnologias são ferramentas cujo objetivo final é melhorar os resultados dos alunos ao longo do processo educacional, com a missão de aumentar o número de estudantes que alcançam os conhecimentos mínimos exigidos por um mercado de trabalho cada vez mais competitivo. Essa abordagem, apresentada pelo autor em 2017, destaca a VR e a AR como tecnologias que “contribuirão para tornar tangíveis muitos conceitos abstratos que esses alunos deverão construir em suas mentes. Como nem todos os alunos possuem este tipo de competências, estas tecnologias irão apoiar este exercício, aumentando assim a taxa de sucesso” (Fernandez, 2017, p. 4).

Mesmo antes da publicação de artigos como o de Fernandez (2017), os termos VR e AR já apareciam diretamente relacionados às expressões “mídias imersivas”, “tecnologias imersivas” e “recursos imersivos”, pois todas essas expressões referem-se a experiências que envolvem a sensação de presença em um ambiente digital ou misto. Diante disso, é válido assinalar a definição da palavra “imersão” usada nessas expressões. Conforme o Michaelis Dicionário Brasileiro da Língua Portuguesa, o vocábulo “imersão” pode ser definido como ato ou efeito de imergir ou de imergir(-se); afundamento, imersão, mergulho. Agrawal et al. (2019, p. 407) definem imersão como um episódio experienciado por alguém “em um estado de profundo envolvimento mental no qual seus processos cognitivos (com ou sem estimulação sensorial) causam uma mudança em seu estado de atenção, de tal forma que ele pode experimentar dissociação da consciência do mundo físico”.

Erturk e Reynolds (2020, p. 191), por sua vez, não definem o termo imersão, mas tratam da expressão “mídia imersiva”. Para os autores “mídia imersiva pode ser entendida como qualquer tecnologia que combina conteúdo gerado por computador com o ambiente físico, criando uma sensação de imersão e estimulando os sentidos humanos por meio de multimídia interativa”, ou seja, algo que VR e AR fazem. Na visão de Erturk e Reynolds (2020), a VR visa obstruir o ambiente físico, enquanto a AR pode envolver a sobreposição de conteúdo no mundo físico.

Sandoval-Henríquez et al. (2024) corroboram com Erturk e Reynolds (2020) e Fernandez (2017), assinalando que tecnologias imersivas como VR e AR, possuem o potencial de enriquecer o aprendizado ao oferecer experiências interativas, realistas e seguras, sem as limitações de tempo e espaço. No contexto do ensino de Matemática, a pesquisa realizada pelos autores confirma que essas ferramentas ajudam na visualização e compreensão de conceitos abstratos de forma mais concreta, algo que Fernandez (2017) já apontava como importante. Além disso, tais ferramentas permitem que os alunos interajam com conteúdos matemáticos de maneira prática e visual, o que não apenas facilita sua assimilação, mas também melhora a motivação e o engajamento (Sandoval-Henríquez et al., 2024).

Schutera et al. (2021) alertam que “é importante oferecer atividades e ferramentas educacionais eficientes para a matemática que ajudem os alunos a superar esses desafios” (p. 2) de ensinar conteúdos abstratos por métodos clássicos. Nesse ponto, os autores acrescentam: “as novas tecnologias podem dar um contributo importante para ajudar a resolver este problema no futuro” (p. 2). Os autores fazem referência às tecnologias de VR e AR, e à característica imersiva como um elemento capaz de descrever a qualidade da experiência. Em outras palavras, explorar

¹Este artigo é parte de uma tese de doutorado em andamento.

²A sigla VR vai ser utilizada, ao longo do texto, para a redução do termo “*virtual reality*”, que significa “realidade virtual”, assim como a sigla AR reduzirá o termo “*augmented reality*” que significa “realidade aumentada”.

a imersividade, particularmente no ensino de Matemática, pode proporcionar recursos e métodos educativos eficazes para o ensino da disciplina, conforme o alerta dos autores.

Neste contexto, realizar um estudo que considere o ensino de Matemática sob uma perspectiva imersiva mostra-se significativo por diversas razões. Em primeiro lugar, as mídias imersivas têm sido identificadas como promissoras para melhorar a aprendizagem de conceitos abstratos, oferecendo uma visualização prática e interativa, o que é especialmente relevante para a Matemática, que frequentemente enfrenta desafios na transmissão de seus conteúdos devido à natureza abstrata dos conceitos e às limitações de visualização nos métodos de ensino clássicos (Schutera et al., 2021). Em segundo lugar, pode-se mapear o impacto dessas tecnologias na aprendizagem de Matemática, identificando os métodos mais eficazes para o ensino de diferentes tópicos. E, em terceiro, pode-se identificar lacunas na literatura existente (Kitchenham, 2004), o que pode ajudar educadores e instituições a implementar tecnologias imersivas de forma mais eficaz. Assim, propõe-se realizar uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) com base no seguinte questionamento: de que forma a perspectiva imersiva vem sendo empregada no ensino da disciplina?

Com base em Kitchenham (2004), uma RSL representa um “meio de identificar, avaliar e interpretar todas as pesquisas disponíveis relevantes para uma questão de pesquisa específica, ou área temática, ou fenômeno de interesse” (p. 1). Segundo a autora, a RSL permite resumir as evidências disponíveis sobre um tratamento ou tecnologia, destacando tanto os benefícios quanto as limitações de um método ágil específico; fornece uma estrutura que facilita a contextualização e o posicionamento adequado de novas iniciativas de pesquisa; e, conforme destacado no parágrafo anterior, ajuda a identificar lacunas na pesquisa atual apontando áreas que necessitam de investigação futura.

Assim, a RSL proposta procura explorar a literatura apresentada sobre o assunto, com o objetivo de **compreender como a perspectiva imersiva vem sendo utilizada no ensino de Matemática**. Especificamente, espera-se investigar as diferentes metodologias e ferramentas empregadas, os resultados alcançados pelos alunos e os desafios enfrentados pelos educadores. Ou seja, almeja-se explorar de que forma essas abordagens, caso estejam sendo empregadas, podem aprimorar o processo de ensino dessa disciplina, melhorando a experiência de aprendizagem e tornando o ensino de Matemática mais envolvente e eficaz.

Para a composição do *corpus* da RSL foram selecionados artigos do período de 2014 a 2023 disponíveis para acesso e que passaram por revisão por pares nas seguintes bases de dados: Portal de Periódicos da CAPES, *IEEE Xplore*, Biblioteca *SciELO*, *Web of Science*, *ERIC* e *Scopus*. Os autores da RSL procuraram adotar a estratégia PICOC³, adaptada de Kitchenham (2004), conforme delineado no Quadro 1.

Quadro 1

Critérios utilizados na estratégia PICOC.

População	Estudos que apresentem perspectivas imersivas para o ensino de Matemática.
Intervenção	Elementos que garantam uma perspectiva imersiva para o ensino de conceitos matemáticos.
Controle	Artigos publicados em periódicos da área de Ensino de Ciências e Matemática.
Resultados	Discussão que aborda uma perspectiva imersiva para o ensino de conceitos matemáticos.
Contexto	Estudos centrados no Ensino de Matemática por meio de uma perspectiva imersiva.

Fonte: Os autores (2024)

Assim, a presente RSL, que aborda a intersecção entre imersividade e ensino de Matemática, foi realizada no mês de junho de 2024, com um quantitativo inicial de 258 resultados. Após aplicação de critérios de inclusão, exclusão, seleção, extração e avaliação de qualidade, o *corpus* da RSL foi reduzido a análise mais aprofundada de 60 artigos.

³Abordagem utilizada para definir critérios claros e específicos de inclusão de estudos relevantes para a análise proposta na RSL. A sigla foi traduzida pelos autores da seguinte forma: do inglês *Population, Intervention, Control, Outcomes* e *Context* para o português *População, Intervenção, Controle, Resultados* e *Contexto*.

2. Protocolo

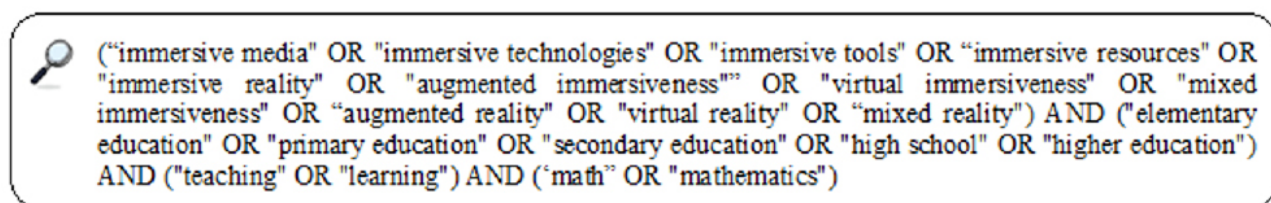
Com o objetivo de explorar o ensino de Matemática a partir de uma perspectiva imersiva, a presente RSL busca analisar e sintetizar o panorama de publicações sobre aplicações dessas abordagens, caso estejam sendo empregadas. A pesquisa pretende oferecer subsídios para aprimorar o processo de ensino de Matemática, servindo a educadores e pesquisadores interessados em compreender o ensino desta disciplina em um contexto imersivo. O protocolo descrito nesta seção baseia-se no estudo realizado por Kitchenham (2004), seguindo as etapas delineadas pela autora para a condução de uma RSL: 1) planejamento da revisão; 2) condução da revisão; e 3) relato da revisão.

O planejamento (1) considera a busca de uma resposta para a questão principal do artigo e a elaboração de um protocolo de ação, que representa um plano para orientar os autores da RSL em todas as etapas do processo, visando garantir uma pesquisa transparente e reproduzível. A condução da revisão (2), por sua vez, envolve uma consulta às seis bases de dados previamente apresentadas, considerando a seleção de estudos primários do tipo *open access* (garantindo a disponibilidade integral dos estudos), que tenham sido revisados por pares (assegurando qualidade e credibilidade) e sem restrição de idioma (objetivando maior abrangência e inclusão de conhecimentos acadêmicos relevantes). O relato da RSL (3) procura apresentar uma síntese organizada e detalhada do processo, incluindo a descrição dos critérios de busca e seleção dos estudos, além dos métodos de extração de dados. A análise dos resultados e a discussão das conclusões alcançadas, embora façam parte da etapa (3), serão apresentadas na seção seguinte, que trará a compilação dos dados extraídos pelos autores.

A busca realizada nas bases de dados elencadas considerou descritores elaborados a partir das palavras-chave "*immersive media*", "*immersive technologies*" e "*Mathematics Education*". Os descritores foram redigidos em inglês em todas as bases, conforme mostrado na Figura 1, a fim de possibilitar a abrangência mencionada anteriormente.

Figura 1

Descritores de busca



Fonte: Os autores (2024)

A filtragem realizada no quantitativo inicial de artigos selecionados buscou destacar estudos que especificassem "perspectivas imersivas para o ensino de Matemática". O Quadro 2 elenca os critérios adotados pelos autores para incluir ou excluir textos em sua busca inicial. Vale ressaltar, neste ponto, que os autores utilizaram a aplicação StArt⁴ para a organização das etapas da RSL.

⁴O StArt (*State of the Art through Systematic Review*) é uma ferramenta desenvolvida pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) no Brasil, com o objetivo de facilitar a execução de todas as etapas de uma RSL, desde o planejamento até a extração e análise de dados, promovendo a organização e automação de tarefas.

Quadro 2

Critérios de Inclusão e Exclusão.

Serão incluídos	Serão excluídos
Artigos que abordam a utilização de mídias, tecnologias ou recursos imersivos para o Ensino de Matemática.	Artigos fora do escopo da pesquisa ou que tratem da utilização de mídias, tecnologias ou recursos imersivos para o ensino em outras áreas.
Artigos que demonstrem a relevância e aplicabilidade de uma perspectiva imersiva para o Ensino de Matemática.	Artigos puramente teóricos ou de outra natureza (bibliográfica, RSL, etc.).
Artigos que apresentem resultados sobre a eficácia ou impacto de uma perspectiva imersiva para o Ensino de Matemática.	Artigos duplicados, que não estejam disponíveis em PDF ou do tipo <i>closed access</i> .

Fonte: Os autores (2024).

Kitchenham (2004) recomenda que a seleção inicial seja realizada de forma ampla, ou seja, os estudos a serem analisados de modo mais detalhado dependem da exclusão daqueles que podem ser claramente descartados, com base em seus títulos e resumos. Conforme a recomendação da autora, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos para a realização de uma filtragem inicial. Dessa forma, o Quadro 3 lista o quantitativo de estudos excluídos nesta etapa.

Quadro 3

Quantitativo de Estudos Excluídos.

Motivos da exclusão	Quantidade
Artigos fora do escopo da pesquisa ou que tratam da utilização de mídias, tecnologias ou recursos imersivos para o ensino em outras áreas.	22 (fora do escopo) + 89 (outras áreas) = 111
Artigos puramente teóricos ou de outra natureza (bibliográfica, RSL, etc.).	13
Artigos duplicados e/ou não disponíveis em PDF (<i>closed access</i>).	52 (repetidos) + 4 (sem acesso)
TOTAL	180

Fonte: Os autores (2024)

O StArt recebeu as referências dos 258 artigos iniciais no formato RIS (*Research Information Systems*) – formato amplamente utilizado para importar e exportar citações e referências bibliográficas entre *softwares* de gerenciamento de referências. Desde o início, o *software* identificou 52 artigos repetidos e possibilitou as demais exclusões que, após leitura dos títulos e resumos, resultaram na retirada de 180 textos. Assim, os autores obtiveram um total de 78 estudos a serem analisados integralmente.

Para a análise, os autores consideraram que “além dos critérios gerais de exclusão e de inclusão, geralmente é considerado importante avaliar a ‘qualidade’ dos estudos primários” (Kitchenham, 2004, p. 10). A avaliação descrita pela autora permite estabelecer critérios mais detalhados para os estudos. Além disso, Kitchenham (2004) ressalta a necessidade de investigar e avaliar a importância relativa de cada estudo na síntese dos resultados, bem como orientar a interpretação dos achados e a solidez das inferências feitas. Nesse contexto, a autora menciona “instrumentos de qualidade”, que consistem em listas de verificação de elementos a serem avaliados em cada estudo.

Dessa forma, os autores elaboraram um instrumento de qualidade (Quadro 4) para ser utilizado na análise dos estudos incluídos. O instrumento busca evitar problemas relacionados, por exemplo, à inclusão de estudos que não apresentem o público-alvo e os resultados encontrados ou que considerem apenas a apresentação de “produtos” baseados em mídias imersivas – isto é, materiais não testados, onde o foco principal é a ideia e o interesse dos autores em destacar uma sugestão futura, ou, ainda, que não forneçam uma descrição adequada da metodologia empregada.

Quadro 4

Questionamentos do Formulário de Qualidade.

Q1	O texto destaca aplicações de recursos imersivos no Ensino de Matemática?
Q2	O texto explicita o público-alvo do estudo e o(s) conteúdo(s) matemático(s) contemplado(s)?
Q3	A metodologia de Ensino de Matemática, mediada pela mídia imersiva, é descrita de forma clara e detalhada, permitindo uma compreensão completa do processo de ensino-aprendizagem?
Q4	O(s) autor(es) do artigo apresenta(m) os principais achados e conclusões mais relevantes (aspectos positivos e/ou negativos, lacunas na literatura e implicações para futuras pesquisas) em seu(s) estudo(s)?

Fonte: Os autores (2024).

De acordo com a adoção dos critérios listados, será considerado para a etapa de extração de dados e inclusão na RSL, o artigo que responder "sim" a pelo menos 3 das 4 perguntas. Caso o artigo responda "não" a 3 ou 4 das perguntas, ele deverá ser excluído, pois isso indica que o estudo apresenta falhas significativas em aspectos essenciais como metodologia, validade, ou relevância para a pesquisa. Os autores também estabeleceram uma consideração condicional para o artigo que responder "sim" a 2 das 4 perguntas. Nesse caso, ele pode ser incluído condicionalmente, especialmente se os "sim" se referirem a critérios críticos, como clareza metodológica e relevância para a pesquisa. Nesta situação, o estudo deve ser revisado com atenção especial e considerado no contexto de outros estudos.

Em conformidade com a análise realizada pelos autores com base nos critérios anteriores, 18 textos foram excluídos. Alguns estudos preocuparam-se apenas com a apresentação do desenvolvimento das mídias, mas não com sua aplicação voltada ao ensino e aplicações em sala de aula, algo que a RSL considerou essencial para a apresentação dos dados propostos. Outros estudos buscaram introduzir novas ferramentas como alternativas aos métodos tradicionais de ensino da Matemática, porém não aprofundaram a aplicação prática dessas ferramentas, e um dos textos não explicitou o nível do público-alvo considerado, algo que os autores tomaram como relevante devido à apresentação dos estudos realizada na seção de resultados e discussão. Diante disso, a RSL prossegue para a etapa de extração com um total de 60 textos.

A Figura 2 resume graficamente as etapas de identificação, triagem e seleção dos estudos incluídos na revisão sistemática:

Figura 2

Etapas de seleção e exclusão dos estudos da RSL.



Fonte: Os autores (2024).

Kitchenham (2004, p. 17) descreve a extração como uma etapa que visa “registrar com precisão as informações obtidas pelos pesquisadores nos estudos primários”. Assim, a extração realizada pelos autores segue os aspectos elencados na etapa de avaliação de qualidade e considera, respectivamente, os seguintes elementos: detalhamento dos tipos de recursos imersivos utilizados (VR, AR, simulações 3D, etc.), forma como esses recursos foram aplicados no contexto de ensino e as atividades ou experiências criadas; identificação do público-alvo, incluindo informações sobre características demográficas ou acadêmicas, e especificação dos conceitos ou tópicos matemáticos abordados; descrição da metodologia utilizada e justificativa, caso exista, para a escolha da metodologia e dos procedimentos adotados; e apresentação dos principais resultados obtidos, incluindo descobertas sobre a eficácia dos recursos, impacto no aprendizado, *feedback* dos alunos e sugestões para futuras pesquisas, considerando tanto aspectos positivos quanto desafios encontrados.

A escolha dos elementos a serem observados é justificada pelas orientações de Kitchenham (2004, p. 17), que enfatiza que “os formulários de extração de dados devem ser elaborados para coletar todas as informações necessárias para responder às questões de revisão e aos critérios de qualidade do estudo”. Portanto, após uma segunda leitura integral dos 60 textos, a seção seguinte destina-se à última parte da etapa de relato da RSL, ou seja, à análise dos resultados e discussão das conclusões encontrados pelos autores do presente estudo. Para fins de organização, os textos analisados foram separados por nível (Fundamental, Médio e Superior), e os resultados serão apresentados seguindo essa estrutura.

3. Resultados

A compilação dos dados extraídos pelos autores tem como finalidade responder à questão inicial – de que forma a perspectiva imersiva vem sendo empregada no ensino da disciplina? – e alcançar o objetivo geral deste estudo: compreender como a perspectiva imersiva vem sendo utilizada no ensino de Matemática. Nesse sentido, é pertinente iniciar esta seção apresentando o quantitativo de textos por nível, conforme a organização estabelecida pelos autores: dentre os 60 textos analisados, 27 abordam pesquisas realizadas com turmas do Ensino Fundamental, 24 com turmas do Ensino Médio e 9 com turmas do Ensino Superior.

A ordem de apresentação dos resultados a seguir seguirá a sequência destacada anteriormente. Vale ressaltar, ainda, que os textos terão suas respectivas identificações nos quadros anexados. Em cada quadro constarão a identificação do texto (ID), organizada em ordem crescente de data de publicação, o autor ou autores, o ano de publicação e, para responder ao aspecto “explicitação de público-alvo” os quadros incluirão uma coluna de “informações adicionais”, destinada a exibir o público-alvo e local onde o estudo foi realizado. O primeiro nível a ser analisado é o Ensino Fundamental, objeto de estudo de 27 textos, cujos dados são apresentados no Quadro 5.

Quadro 5

Textos com foco no Ensino Fundamental.

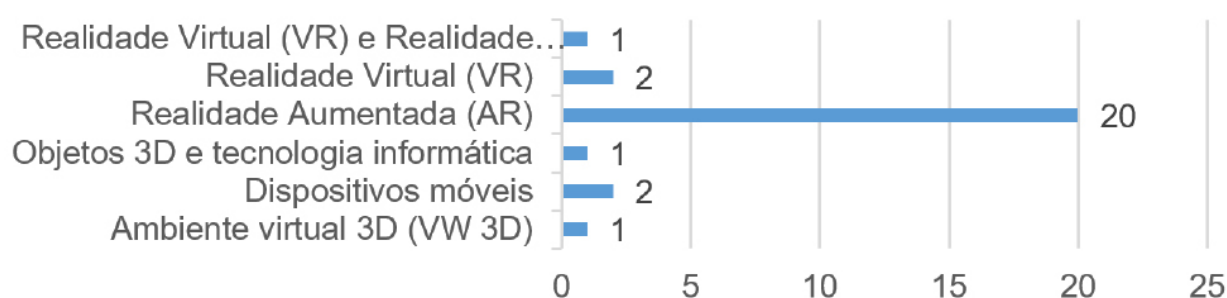
ID	AUTOR(ES)	ANO	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
EF1	Crompton	2015	60 alunos da 4ª série (9 a 10 anos de idade) / Sudeste dos Estados Unidos.
EF2	Watts et al.	2016	100 crianças / Estado de Utah, EUA.
EF3	Cascales-Martínez et al.	2017	22 alunos com necessidades educativas especiais (NEE), com idades entre 6 e 12 anos / Escola Pública de Alicante, Espanha.
EF4	Khairunnisak et al.	2018	02 professores de Matemática, juntamente com seus alunos do 8º ano / 02 Escolas Públicas de Banda Aceh, Indonésia.
EF5	Andrea et al.	2019	02 professores e 08 alunos / Indonésia.
EF6	Lainufar et al.	2020	03 vice-diretores de currículo, 03 professores de matemática e 06 alunos do 8º ano / Escolas Públicas de ensino secundário em Banda Aceh, Indonésia.
EF7	Suryanti et al.	2020	95 alunos escolhidos aleatoriamente em 05 escolas / Ilha Bawean, Indonésia.
EF8	Lasica et al.	2020	06 professores que aplicaram AR em seus cursos relacionados a STEM (Ciência, Tecnologia, Engenharia e Matemática) e 60 alunos entre 12 e 15 anos de idade que participaram nas intervenções acima mencionadas implementadas / Chipre e Grécia.
EF9	Demitriadou et al.	2020	30 alunos do 4º, 5º e 6º anos, divididos em três grupos que incluem um grupo de controle e dois grupos experimentais / Chipre, Oriente Médio.
EF10	Ahsan et al.	2020	Alunos da Escola Secundária 10 Semarang (JHS 10 Semarang) / Indonésia.
EF11	Saundarajan et al.	2020	33 alunos do ensino secundário inferior / Malásia.
EF12	Cahyono et al.	2020	02 professores de Matemática e 30 alunos da 8ª série / Semarang, Indonésia.
EF13	Flores-Bascuñana et al.	2020	30 alunos do 6º curso primário (11 e 12 anos) / Espanha.
EF14	Suherman et al.	2020	04 informantes (1ª fase) e 21 alunos da turma VIII da SMPN 4 Ujung Batu (2ª fase) / Indonésia.
EF15	Silva-Díaz et al.	2021	17 alunos do 1º e do 2º ano do ESO (Ensino Secundário Obrigatório) / Granada, Espanha.
EF16	Pramuditya et al.	2022	06 alunos do 8º ano / Indonésia.
EF17	Abdul Hanid et al.	2022	124 alunos do Form 1 em duas escolas secundárias / Distrito de Johor Bahru, Malásia.
EF18	Sudirman et al.	2022	01 professor de Matemática e 28 alunos da classe VIII / Regência de Indramayu, na Indonésia.
EF19	Lazo-Amado et al.	2022	70 pais de alunos / Peru.
EF20	Zuo et al.	2022	62 participantes (31 de Qingdao, província de Shandong e 31 da província de Hefei Anhui) / China.
EF21	Andriyani et al.	2022	17 alunos surdos do 8º ano que frequentam uma aula sobre aprendizagem circular / SLB Negeri 2 Bantul, Yogyakarta, Indonésia.
EF22	Poçan et al.	2023	73 alunos do 7º ano (com idades entre 12 e 14 anos) / Turquia.
EF23	Volioti et al.	2023	174 participantes divididos em três grupos distintos: (a) 65 alunos de Graduação em Filosofia e Educação, (b) 74 alunos de Graduação em Engenharia e (c) 35 alunos do 6º ano / Grécia.
EF24	Angraini et al.	2023	30 alunos do 7º ano / Escola estadual de Pekanbaru, Indonésia.
EF25	Pujiastuti e Haryadi	2023a	60 alunos da classe VIII, com idade média de 13 anos / Indonésia.
EF26	Pujiastuti e Haryadi	2023b	200 alunos da 8ª série / Cidade de Serang Banten, Indonésia.
EF27	Gadille et al.	2023	22 alunos do 5º ano / Escola secundária da cidade de Gap, nos Altos Alpes, França.

Fonte: Os autores (2024)

Para o início da análise, a Figura 3 aponta a AR como mídia imersiva mais utilizada, sendo mencionada em 20 estudos. Outras mídias, como VR, dispositivos móveis e ambientes virtuais 3D, têm uma presença menor nos estudos analisados.

Figura 3

Mídias imersivas com foco no Ensino Fundamental.



Fonte: Os autores (2024).

Especificamente, tem-se o uso de AR em: EF1 de Crompton (2015), com uma AR baseada em marcadores aplicada em livro didático de Geometria; EF4 de Khairunnisak et al. (2018), com uma mesa interativa de AR para apoiar alunos com necessidades educacionais especiais; EF6 de Lainufar et al. (2020), que desenvolve instrumentos baseados em AR para o ensino de Geometria; EF7 de Suryanti et al. (2020), utilizando AR para criar uma atmosfera interativa que facilita o entendimento de números inteiros; EF8 de Lasica et al. (2020), destacando o uso de AR para melhorar competências em cursos STEM; EF10 de Ahsan et al. (2020), que propõe um aplicativo móvel de AR para facilitar o ensino de Geometria Espacial ao ar livre; EF11 de Saundarajan et al. (2020), com o aplicativo *Photo-math* que utiliza AR para o ensino de equações algébricas; EF12 de Cahyono et al. (2020), usando AR para apoiar atividades de Matemática ao ar livre; EF13 de Flores-Bascuñana et al. (2020), que utiliza AR no ensino de conteúdos geométricos tridimensionais; EF14 de Suherman et al. (2020), que apresenta um livro interativo de AR para melhorar habilidades de raciocínio matemático.

Adicionalmente, os textos EF17 de Abdul Hanid et al. (2022), EF18 de Sudirman et al. (2022), EF19 de Lazo-Amado et al. (2022), EF20 de Zuo et al. (2022), EF21 de Andriyani et al. (2022), EF22 de Poğan et al. (2023), EF23 de Volioti et al. (2023), EF24 de Angraini et al. (2023), EF25 de Pujiastuti e Haryadi (2023a) e EF26 de Pujiastuti e Haryadi (2023b) destacam estudos que integram AR com diferentes ferramentas e modelos de ensino, como *GILAR*, *MathMythosAR2*, *Cooking Math* e *TinkerCad*.

Os demais estudos evidenciam o uso de outras mídias imersivas, como dispositivos móveis e tecnologias diversas. Entre as mídias empregadas, destacam-se: EF2 de Watts et al. (2016), que usa dispositivos móveis para explorar fenômenos do mundo real e apoiar a compreensão de conceitos matemáticos; EF3 de Cascales-Martínez et al. (2017), com aplicativos de matemática manipulativa virtual em telas sensíveis ao toque que auxiliam no aprendizado; EF5 de Andrea et al. (2019), utilizando objetos 3D e tecnologia informática para enriquecer o ensino de Geometria (especificamente os tópicos de área de superfície e volume); EF9 de Demitriadou et al. (2020), que adota uma abordagem mista (VR e AR); EF15 de Silva-Díaz et al. (2021), que apresenta a chamada Realidade Virtual Imersiva (RVI) aplicada a atividades manipulativas para promover a aprendizagem; EF16 de Pramuditya et al. (2022), com jogos educativos em VR (*Virtual Reality Game Learning*) para o ensino; e EF27 de Gadille et al. (2023), que foca em um ambiente virtual 3D para resolver equações de Álgebra e Geometria Espacial.

No Ensino Fundamental, os estudos foram conduzidos em escolas públicas e privadas, abrangendo zonas urbanas e rurais. O público-alvo inclui crianças de várias faixas etárias, além de professores que utilizam as tecnologias em suas práticas de ensino. Vários estudos analisam o impacto do uso de aplicativos de Matemática e jogos educativos que permitem aos alunos praticar habilidades matemáticas de maneira divertida e interativa. Os detalhes relativos a esses pontos encontram-se na coluna de informações adicionais no Quadro 5.

Quanto aos conteúdos abordados, a maioria dos estudos (EF1, EF4, EF5, EF6, EF9, EF10, EF12, EF13, EF14, EF17, EF18, EF21, EF22, EF24, EF25, EF26 e EF27) trata de conteúdos relacionados à Geometria, com foco em diferentes aspectos e aplicações. Outros temas abordados incluem Aritmética Básica (EF2, EF19, EF20 e EF22), números inteiros e fracionários (EF7 e EF23), sistema monetário (EF3), aprendizado de equações algébricas (EF11 e EF27), resolução de problemas matemáticos abertos (EF16) e modelagem matemática aplicada à resolução de problemas reais (EF12). Há ainda estudos, como EF8 e EF15, que mencionam o uso de tecnologias imersivas no contexto de disciplinas STEM, sem detalhar conteúdos matemáticos.

Portanto, os conteúdos elencados demonstram uma ampla diversidade de abordagens no ensino de Matemática, com um foco predominante em Geometria. Os delineamentos metodológicos descritos nos estudos também refletem essa diversidade. Neste contexto, destacam-se metodologias como: pesquisa baseada em *design* (*Design-Based Research* ou DBR); entrevistas e observação individual; trajetórias hipotéticas de aprendizagem (*Hypothetical Learning Trajectories* ou HLT); estudos experimentais com pré-teste e pós-teste; jogos educacionais e modelos de resolução de problemas; programas de desenvolvimento profissional de professores; ambientes imersivos e simulações com VR; aprendizagem baseada em tarefas do cotidiano; e *design thinking* e prototipagem.

Em particular, EF1 utilizou uma pesquisa baseada em *design* com ciclos iterativos de ensino, análise e revisão. EF2 empregou entrevistas clínicas individuais para observar a interação dos alunos com aplicativos matemáticos, registrando o progresso em vídeo. EF4 focou em Trajetórias Hipotéticas de Aprendizagem (HLT), envolvendo manipulação de objetos tridimensionais e roteiros para professores. Estudos como EF3, EF7, EF16, EF17, EF19, EF21 e EF26 seguiram delineamento experimental com testes pré e pós-intervenção para medir o impacto da tecnologia no aprendizado.

Outros estudos, como EF12, EF16, EF23 e EF27, integraram jogos educativos e resolução de problemas em AR e VR. Por exemplo, o EF23 usou o jogo *Cooking Math* para reforçar conceitos por meio de receitas culinárias, conectando a experiência diária dos alunos à Matemática. EF8 destacou a capacitação de professores para o uso de AR, incentivando a integração da tecnologia ao currículo. Estudos como EF9 e EF15 usaram VR para criar ambientes de aprendizagem imersivos, permitindo aos alunos explorar conceitos matemáticos de forma experiencial. EF19, por sua vez, usou *design thinking* para desenvolver um aplicativo de AR voltado para crianças com discalculia, focando em entrevistas e *feedback* dos pais para aprimoramento contínuo.

Cada delineamento metodológico foi projetado para explorar ao máximo as mídias imersivas, criando experiências de aprendizagem interativas, visuais e práticas que facilitam a compreensão de conceitos matemáticos complexos e promovem habilidades como pensamento crítico e resolução de problemas. Em geral, a AR e a VR demonstraram um impacto positivo e significativo na aprendizagem. A AR, em particular, mostrou-se eficaz para melhorar a compreensão de conceitos geométricos e aumentar o engajamento dos alunos, mas enfrentou desafios como a necessidade de dispositivos adequados, treinamento de professores e estabilidade das aplicações. Sugere-se ainda a combinação de AR com abordagens pedagógicas eficazes e a integração de conteúdo educativo de alta qualidade para maximizar seus benefícios.

Tecnologias como mesas multitoque e os jogos de VR também foram bem recebidas, por melhorarem a motivação e habilidades de solução de problemas dos alunos, embora sua implementação possa ser custosa e exigir adaptações. Tecnologias móveis e aplicativos como *Photomath* contribuíram para a aprendizagem matemática, oferecendo maior interatividade e personalização, mas evidenciaram a necessidade de maior integração digital e de pesquisas sobre seu impacto a longo prazo. Além disso, a combinação do aprendizado ao ar livre com AR e o uso de narrativas de fantasia em AR, como mostraram EF10, EF12 e EF20, apresentaram potencial para aumentar o engajamento e a compreensão de conceitos matemáticos.

Em resumo, vários estudos destacaram o enriquecimento da Educação Matemática, proporcionado pelas mídias imersivas, promovendo a visualização concreta de conceitos abstratos e estimulando o pensamento crítico e independente. Contudo, limitações no uso dessas mídias incluem a necessidade de pesquisas adicionais para explorar completamente suas aplicações, custos elevados, adaptação a diferentes contextos e grupos de alunos, além de desafios como a integração das mídias imersivas ao currículo escolar. Isso se reflete de maneira semelhante no Ensino Médio, segundo nível a ser discutido. De forma análoga ao Ensino Fundamental, o Quadro 6 apresenta os textos analisados neste nível.

Quadro 6

Textos com foco no Ensino Médio.

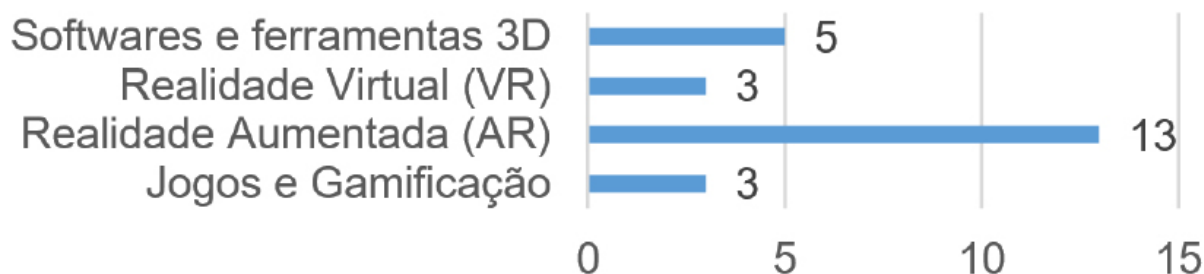
ID	AUTOR(ES)	ANO	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
EM1	Guerrero et al.	2016	60 alunos da Florida Secondary / Valência, Espanha.
EM2	Hartatiana et al.	2017	143 alunos de uma escola secundária / Palembang, Indonésia.
EM3	Orcos et al.	2019	78 alunos do 3º ano do ensino secundário de uma escola privada, financiada pelo Estado / Madrid.
EM4	Rondina e Roble	2019	02 grupos de alunos da Misamis Oriental General Comprehensive High School / Cidade de Cagayan de Oro, Filipinas.
EM5	Kartika et al.	2019	Alunos das escolas SMA Negeri 2 Bireuen e MAN 1 Jangka / Indonésia.
EM6	Cai et al.	2019	101 estudantes de 13 a 15 anos / Pequim, China.
EM7	Jaelani et al.	2019	Palestrantes, professores e alunos / Indonésia.
EM8	Hsu	2020	30 estudantes / Taiwan.
EM9	George	2020	192 alunos com idades entre 14 e 16 anos de uma instituição de ensino privada / México.
EM10	Del Cerro Velázquez e Morales Méndez	2021	48 alunos do 4º ano do Ensino Secundário Obrigatório (ESO) / Espanha.
EM11	Hsu	2021	42 alunos / Taiwan, China.
EM12	Schutera et al.	2021	Alunos do 12º ano / Alemanha.
EM13	Jaelani	2021	219 alunos do XII ano de quatro escolas (uma escola pública em Sokaraja e três escolas públicas em Purwokerto) / Java Central, Indonésia
EM14	Buchori et al.	2021	Alunos da série X da Escola Secundária Estadual 15 Semarang / Indonésia.
EM15	Ban Hassan Majeed e ALRikabi	2022	60 alunos da Escola Secundária Al-Istiqlal para Meninas / Bagdá, Iraque.
EM16	Moral-Sánchez et al.	2022	Alunos dos 2º e 3º anos do ESO da Escola Secundária Juan de la Cierva / Vélez-Mumlaga, Espanha.
EM17	Qomario et al.	2022	26 alunos da turma X SMA 12 Bandar Lampung / Indonésia.
EM18	Frisnoiry et al.	2022	Alunos da turma XI da SMA Negeri 1 Stabat / Stabat, Sumatra do Norte, Indonésia.
EM19	Barrios Soto et al.	2022	Alunos do 10º ano / Colômbia.
EM20	Dini Rahmawati et al.	2022	Alunos da turma XI do SMA N 1 Tahunan Jepara / Distrito de Tahunan, na regência de Jepara, em Java Central, Indonésia.
EM21	MacCallum	2022	Alunos de 02 escolas secundária / Nova Zelândia.
EM22	Bagossi et al.	2022	24 estudantes do 11º ano / Itália e Israel.
EM23	Tursynkulova e Madiyarov	2023	141 alunos da escola de Shymkent / Cazaquistão.
EM24	Richardo et al.	2023	04 professores seniores de Matemática e 18 alunos / Yogyakarta, Indonésia.

Fonte: Os autores (2024)

As mídias imersivas contempladas nos estudos são VR, AR, hologramas tridimensionais, gamificação e ambientes virtuais tridimensionais. De forma semelhante aos estudos realizados no nível Fundamental, os textos que apresentam mídias imersivas para o Ensino de Matemática no nível Médio também destacam a AR como a principal mídia utilizada, estando presente, de forma direta, em 13 estudos, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4

Mídias imersivas com foco no Ensino Médio.



Fonte: Os autores (2024).

O uso de AR está presente em diversos estudos: EM6 de Cai et al. (2019), que utiliza AR baseada em *tablets*; EM9 de George (2020), com o *software Metaverse*; EM10 de Del Cerro Velázquez e Morales Méndez (2021), que emprega o GeoGebra AR para auxiliar na resolução de funções e desenvolver a inteligência espacial; EM12 de Schutera et al. (2021) com a aplicação *cleARmaths* para ensinar conceitos matemáticos de forma interativa; EM14 de Buchori et al. (2021), com um livro mágico de Matemática baseado em AR; EM15 de Ban Hassan Majeed e ALRikabi (2022), focado no desenvolvimento da inteligência espacial; EM17 de Qomario et al. (2022), que utiliza cartazes educativos em AR; EM18 de Frisnoiry et al. (2022), que combina AR com aplicativos como *Kahoot* e vídeos educativos; EM19 de Barrios Soto et al. (2022), que menciona o uso de AR sem especificações feitas; EM21 de MacCallum (2022), que propõe uma trilha matemática em AR, onde alunos resolvem problemas no ambiente físico; EM22 de Bagossi et al. (2022), que emprega fones de ouvido e o GeoGebra; EM23 de Tursynkulova e Madiyarov (2023), que utiliza AR para exibir modelos geométricos tridimensionais em tempo real; e EM24 de Richardo et al. (2023), que integra AR ao ensino de Geometria para melhorar o pensamento criativo.

Outros estudos focam em VR e jogos: EM8 de Hsu (2020) aplica VR no ensino de sistemas de equações tridimensionais; EM11 de Hsu (2021) compara dois sistemas de VR, um baseado em *desktop* (*HTC VIVE*) e outro VR completo (*HTC VIVE Focus*); EM20 de Dini Rahmawati et al. (2022) utiliza VR em uma abordagem etnomatemática. Jogos e gamificação são explorados em EM4 de Rondina e Roble (2019), com jogos matemáticos; EM5 de Kartika et al. (2019), que propõe um jogo de aventura para aprimorar o pensamento criativo em Geometria; e EM16 de Moral-Sánchez et al. (2022), que emprega gamificação com simuladores de VR e AR para melhorar a visualização espacial. Os estudos que utilizaram *softwares* e ferramentas 3D incluem: EM1 de Guerrero et al. (2016), com interfaces tangíveis (*Novint Falcon*, *FlyStick*, *PrimBox*) para manipulação de objetos em ambientes tridimensionais; EM2 de Hartatiana et al. (2017), que usa o *Cabri 3D* para visualização geométrica; EM3 de Orcos et al. (2019), com hologramas para auxiliar na visualização de sólidos; e EM7 de Jaelani et al. (2019) e EM13 de Jaelani (2021), que empregam o *SketchUp* para manipulação tridimensional em Geometria.

No Ensino Médio, os estudos frequentemente envolveram turmas específicas, com cerca de 20 a 40 alunos, e foram realizados tanto em escolas públicas quanto privadas. O público-alvo abrange adolescentes, geralmente entre 15 e 18 anos, em locais que variam de grandes cidades a pequenas comunidades. Os detalhes relativos a esse ponto encontram-se na coluna de informações adicionais do Quadro 6. Alguns estudos foram conduzidos em ambientes de laboratório, onde os recursos imersivos, como simuladores e VR, puderam ser utilizados de forma controlada para observar os efeitos no aprendizado dos alunos. Os conteúdos abordados incluem Geometria, Funções e Álgebra, Sistemas de Equações Lineares, Trigonometria, entre outros.

Nesse segmento, é relevante observar que a maioria dos estudos abordados, de forma similar ao Ensino Fundamental, trata de conteúdos relacionados à Geometria (EM2, EM3, EM5, EM7, EM13, EM15, EM17, EM18, EM19, EM23 e EM24). Quanto aos demais conteúdos trabalhados, destacam-se: Sistema de Equações Lineares (EM8 e EM11), Funções (EM10 e EM22), Geometria Vetorial (EM12), Álgebra (EM4), Trigonometria (EM20), Estatística e Probabilidade (EM6), Fundamentos de Matemática (EM9), Medidas e Cálculo de Áreas (EM21) e Conceitos Interdisciplinares relacionados a disciplinas STEM (EM16).

Assim como no Ensino Fundamental, os estudos voltados para o Ensino Médio apresentam uma diversidade de conteúdos, além de uma variedade metodológica significativa no uso de mídias imersivas no ensino de Matemática. As metodologias frequentemente adotadas incluem: estudos experimentais, com aplicação de pré-teste e pós-teste para avaliar o impacto das mídias imersivas na aprendizagem; abordagens colaborativas, nas quais os alunos trabalham em grupos para resolver problemas matemáticos, utilizando tecnologias como AR e VR; o uso de *softwares* interativos, como *Cabri 3D* e *SketchUp*, que permitem a manipulação de objetos tridimensionais para o aprendizado de Geometria; e a implementação de jogos educativos como ferramenta para o ensino de conceitos matemáticos, integrando desafios e simulações. Além disso, alguns estudos seguiram modelos pedagógicos estruturados, como o ADDIE (Análise, Design, Desenvolvimento, Implementação e Avaliação), para o desenvolvimento de *e-books* e aplicativos interativos.

Os estudos sobre o uso de mídias imersivas no ensino de Matemática no Ensino Médio revelam uma série de achados e conclusões relevantes. Em muitos casos, o uso de tecnologias imersivas como AR e VR mostrou-se capaz de melhorar a motivação, o engajamento e a compreensão de conceitos matemáticos pelos alunos. Recursos como hologramas, jogos educativos e *software* de modelagem 3D, como *SketchUp* e *Cabri 3D*, foram eficazes em promover uma melhor visualização e entendimento, especialmente em áreas como Geometria e Álgebra. Entretanto, os estudos também apontam desafios significativos, como a necessidade de equipamentos adequados e treinamento para professores. Lacunas na literatura sobre o uso prolongado e a eficácia das tecnologias imersivas em diferentes contextos e para diversas áreas da Matemática também foram destacadas.

Há uma tendência crescente de adotar tecnologias imersivas para tornar o aprendizado mais interativo e contextualizado. Os estudos sugerem que essas tecnologias têm o potencial de transformar o ensino, mas também enfatizam a necessidade de pesquisas adicionais para explorar seu potencial completo e desenvolver melhores práticas pedagógicas. Recomenda-se ainda investigar o impacto de longo prazo das tecnologias imersivas e sua integração em outros tópicos matemáticos, além de explorar metodologias e estratégias para superar limitações identificadas, como acessibilidade e formação contínua de professores. Em última análise, são apresentados os estudos voltados para o Ensino Superior (Quadro 7), que representam uma quantidade menor em comparação com os outros dois níveis.

Quadro 7

Textos com foco no Ensino Superior.

ID	AUTOR(ES)	ANO	INFORMAÇÕES ADICIONAIS
ES1	Buitrago-Pulido	2015	83 alunos do programa de Engenharia Industrial da Escola Colombiana de Carreiras Industriais (ECCI) / Bogotá, Colômbia.
ES2	Cadavid e Gómez	2015	2263 alunos do 1º semestre / Universidade Nacional da Colômbia, Campus de Medellín.
ES3	Tang e Yu	2017	80 alunos da disciplina CAD (<i>Computer-Aided Design</i>) / Universidade Politécnica de Hong Kong.
ES4	Amir et al.	2020	36 professores-alunos de formação inicial (PSTs) / Universidade Muhammadiyah, Sidoarjo, Indonésia.
ES5	Hernández Moreno et al.	2021	103 alunos de uma universidade pública / México.
ES6	Zabala-Vargas et al.	2021	81 alunos de turmas de Cálculo Diferencial de cursos de Engenharia / Universidad Santo Tomás, Bucaramanga, Colômbia.
ES7	Hendracipta et al.	2021	20 professores em formação / Universidade Sultan Ageng Tirtayasa, Indonésia.
ES8	Siregar et al.	2022	Alunos do 5º semestre do curso de Educação Matemática / Faculdade de Matemática e Ciências Naturais da Universidade Estadual de Medan, Indonésia.
ES9	Betts et al.	2023	10 estudantes do 1º ano de Engenharia Biomédica, voltado para disciplinas STEM / Universidade Drexel, Filadélfia, Pensilvânia.

Fonte: Os autores (2024).

Apesar de uma menor quantidade de textos a serem analisados, totalizando 9 estudos, as pesquisas voltadas ao Ensino Superior também apresentam diversidade em relação às mídias imersivas adotadas, incluindo VR, AR, plataformas de aprendizagem móvel e gamificação. Mais uma vez, a AR é a mídia imersiva mais utilizada na maioria dos estudos (Figura 5).

Figura 5

Mídias imersivas com foco no Ensino Superior.



Fonte: Os autores (2024).

Os estudos analisados destacam diversas formas de aplicação de recursos imersivos no ensino de Matemática. A AR foi utilizada de maneiras variadas: no estudo ES1 de Buitrago-Pulido (2015), para interação com objetos digitais no aprendizado de funções em variáveis; no ES4 Amir et al. (2020), em sistemas móveis que aprimoraram a compreensão de conceitos geométricos por professores-alunos; no ES5 de Hernández Moreno et al. (2021), por meio do aplicativo *SICMAR* para a visualização de conceitos matemáticos; e no ES7 de Hendrapipta et al. (2021), com o objetivo de aprimorar a compreensão de conceitos matemáticos entre os alunos. No ES8 de Siregar et al. (2022), um *e-book* assistido por AR permitiu a exibição de objetos 3D e outros conteúdos multimídia, criando um ambiente de aprendizagem interativo.

A gamificação e a aprendizagem baseada em jogos também foram usadas para aumentar a motivação e melhorar o desempenho acadêmico: no ES2 de Cadavid e Gómez (2015), foi criado um ambiente gamificado para um curso de pré-cálculo; e no ES6 de Zabala-Vargas et al. (2021), a gamificação foi utilizada para o ensino de Matemática e Engenharia Matemática. Plataformas móveis foram aplicadas no ES3 de Tang e Yu (2017), com uma plataforma voltada para a revisão de conceitos matemáticos no contexto de disciplinas relacionadas ao CAD. Por fim, o estudo ES9 de Betts et al. (2023) aplicou VR para desenvolver habilidades de visualização espacial, essenciais para a compreensão de conceitos matemáticos.

Nos estudos voltados para o Ensino Superior, o público-alvo geralmente consistiu em estudantes universitários matriculados em cursos de ciências exatas, como Matemática, Física, Engenharia e Estatística. Esses estudos foram realizados principalmente em universidades e faculdades, tanto públicas quanto privadas, localizadas em grandes centros urbanos, conforme mostrado na coluna de informações adicionais do Quadro 7. As intervenções foram realizadas em ambientes variados, desde salas de aula tradicionais até laboratórios de informática ou centros de inovação tecnológica. Alguns estudos foram conduzidos em colaboração com departamentos de pesquisa das universidades, permitindo o uso mais sofisticado de tecnologias imersivas, como *softwares* avançados de modelagem matemática e plataformas de VR.

Os conteúdos matemáticos abordados nos estudos incluem: Cálculo Vetorial (ES1), Pré-Cálculo (ES2), Matemática Fundamental para disciplinas relacionadas a CAD (ES3), Geometria – explorada para aprimorar a compreensão geométrica (ES4 e ES7) e a visualização espacial para a manipulação de objetos tridimensionais em áreas de Engenharia e STEM (ES9) –, Matemática Financeira (ES5), Tópicos de Cálculo Diferencial aplicados em disciplinas de Engenharia (ES6) e Matemática Econômica (ES8).

Os estudos adotaram metodologias variadas envolvendo quase-experimentos, gamificação, ambientes virtuais, plataformas móveis e AR. No ES1, utilizou-se um delineamento quase-experimental, onde o grupo experimental interagia com AR para construir funções em várias variáveis, enquanto o grupo controle utilizava gráficos 3D. No

ES7, a metodologia também foi quase-experimental, com pré e pós-testes para medir a compreensão antes e após o uso de AR, utilizando escores de ganho normalizados (*N-Gain*) para avaliar o progresso. De modo semelhante, no ES9, um grupo utilizou VR para manipular objetos tridimensionais, enquanto o outro grupo não usou a tecnologia, avaliando a transferência de aprendizado para contextos fora do ambiente de VR. Nos estudos ES2 e ES6, a gamificação e os ambientes virtuais foram as principais abordagens. No ES2, um ambiente gamificado permitiu que os alunos resolvessem problemas matemáticos integrados ao jogo, com *feedback* imediato e recompensas para aumentar o engajamento. No ES6, a abordagem DBR foi adotada para avaliar o impacto da gamificação na motivação dos alunos em Cálculo Diferencial, com ciclos iterativos de *design* e ajuste pedagógico baseados nos resultados.

As metodologias de ES3 e ES5 focaram em plataformas e aplicações móveis. Em ES3, uma plataforma de aprendizagem móvel foi utilizada por um grupo experimental para revisar conceitos de disciplinas relacionadas ao CAD, enquanto o grupo controle adotou métodos tradicionais. No ES5, o aplicativo de AR *SICMAR* foi implementado para auxiliar no cálculo de juros simples, combinando dados qualitativos e quantitativos por meio de testes e questionários. Por fim, em ES4 e ES8, a AR foi aplicada ao ensino: no ES4, sistemas móveis foram usados para ensinar conceitos de Geometria, como translação, rotação e dilatação, com professores-alunos interagindo com espelhos de reflexão e outros recursos; já em ES8, um livro eletrônico com AR foi empregado no ensino de Matemática Econômica, permitindo a exibição de objetos tridimensionais e vídeos, com questionários avaliando o aumento da autoeficácia dos alunos após o uso do livro.

Os estudos que investigaram gamificação e ambientes virtuais mostraram melhorias notáveis na motivação e desempenho dos alunos. No ES2, o ambiente virtual gamificado aumentou a motivação e a compreensão em um curso de pré-cálculo, com os alunos demonstrando maior engajamento e melhor aplicação dos conceitos em problemas práticos. No entanto, os autores sugerem estudos de longo prazo para avaliar o impacto contínuo e propõem integrar essa abordagem com outras estratégias pedagógicas. De forma semelhante, no ES6, o uso de gamificação e aprendizagem baseada em jogos elevou a motivação em termos de atenção, relevância, confiança e satisfação, além de ajudar a reduzir a evasão em cursos de Engenharia. O estudo destacou a importância de materiais de ensino de qualidade e *feedback* imediato. No ES7, a AR teve impacto positivo na motivação e na compreensão dos conceitos, aumentando o engajamento dos alunos, embora os autores ressaltem a necessidade de mais estudos sobre os efeitos de longo prazo da AR.

Quanto ao impacto direto das tecnologias imersivas na aprendizagem, o ES1 mostrou que o uso de AR melhorou o desempenho de alunos com perfis cognitivos intermediários e independentes, apesar das limitações relacionadas ao controle do estilo cognitivo dos estudantes. No ES3, uma plataforma móvel para Matemática de Engenharia beneficiou especialmente alunos sem formação matemática prévia, embora haja limitações relacionadas ao tamanho da amostra e à necessidade de expandir a pesquisa. No ES4, o uso de AR no ensino de Geometria resultou em maior compreensão e retenção de conceitos entre professores-alunos, mas os autores sugerem mais pesquisas para ajustar os recursos imersivos às necessidades dos alunos. No ES5, o aplicativo *SICMAR* para cálculo de juros simples aumentou o engajamento e facilitou o entendimento de conceitos abstratos, embora tenha havido desafios técnicos iniciais e a necessidade de infraestrutura tecnológica adequada.

Estudos em contextos de Ensino à Distância também apresentaram resultados promissores. O ES8 relatou que o uso de um livro digital com AR foi eficaz no ensino de Matemática Econômica, aumentando a autoeficácia dos alunos e tornando a aprendizagem mais interativa. Os autores recomendam o uso de AR em materiais didáticos para melhorar o Ensino à Distância. Em ES9, a VR melhorou significativamente as habilidades de visualização espacial dos alunos, com transferência dessas habilidades para tarefas fora do ambiente de VR. O estudo sugere que a VR pode ser uma ferramenta complementar valiosa, mas há necessidade de mais pesquisas sobre seu uso no ensino de habilidades matemáticas específicas.

4. Discussão

Em síntese, esta RSL revelou que o uso de mídias imersivas, como realidade aumentada (AR), realidade virtual (VR), jogos digitais, aplicativos móveis e ambientes 3D, tem sido explorado no ensino de Matemática com resultados promissores. Os estudos analisados, distribuídos entre os níveis Fundamental, Médio e Superior, apontam que essas tecnologias contribuem significativamente para a compreensão de conceitos abstratos, especialmente os relacionados à Geometria — conteúdo mais recorrente nas publicações — e favorecem o desenvolvimento de habilidades como visualização espacial, raciocínio lógico e resolução de problemas.

Além disso, identificou-se uma diversidade metodológica notável. Foram empregados delineamentos experimentais com testes pré e pós-intervenção, métodos qualitativos como entrevistas clínicas e observações, abordagens baseadas em jogos e simulações, além de modelos pedagógicos como o *design thinking*, HLT (Trajetórias Hipotéticas de Aprendizagem) e DBR (Pesquisa Baseada em Design). Esses métodos demonstram o esforço dos pesquisadores em adaptar as mídias imersivas a contextos reais de ensino-aprendizagem, utilizando-as não apenas como recursos tecnológicos, mas como instrumentos articulados a práticas pedagógicas intencionais.

Entre os dispositivos e plataformas analisados, destacam-se a utilização de AR baseada em tablets e smartphones, o uso de VR com óculos e simuladores, livros interativos com marcadores digitais, aplicativos como GeoGebra AR e Photomath, e softwares de modelagem como *SketchUp* e Cabri 3D. Em alguns estudos, a AR foi integrada a contextos do cotidiano, como receitas culinárias e jogos de tabuleiro, para facilitar a compreensão matemática por meio de situações contextualizadas.

Geograficamente, os estudos abrangeram contextos bastante diversos – com destaque para países da Ásia (especialmente Indonésia), Europa (Espanha, Grécia, Alemanha) e América Latina (Colômbia, Peru e México). Essa distribuição revela um crescente interesse internacional pelo tema, mas também denuncia lacunas importantes: a predominância de países com maior acesso a infraestrutura digital, enquanto contextos de baixa conectividade, zonas rurais e comunidades vulneráveis seguem pouco representados.

Embora os resultados sejam promissores, vários desafios foram identificados. Muitos estudos relatam dificuldades técnicas com os dispositivos (instabilidade, limitação de recursos, necessidade de manutenção), bem como a falta de formação específica por parte dos professores. Em alguns casos, o uso das tecnologias foi descrito como superficial ou descolado dos objetivos pedagógicos, sendo utilizado de forma demonstrativa ou isolada. Soma-se a isso o custo elevado dos equipamentos e a baixa disponibilidade de conteúdos curriculares desenvolvidos especificamente para AR e VR no ensino de Matemática.

Recomenda-se, portanto, que pesquisas futuras aprofundem a análise dos impactos dessas tecnologias em diferentes grupos etários e realidades educacionais, com especial atenção à formação docente, à acessibilidade (inclusive para alunos com deficiência), à viabilidade financeira e à sustentabilidade do uso dessas ferramentas no cotidiano escolar. Também é necessário investigar com mais profundidade a eficácia das mídias imersivas em outros conteúdos além da Geometria, como Álgebra, Estatística, Trigonometria e Cálculo, que foram pouco explorados.

Por fim, os dados apontam que as mídias imersivas apresentam maior eficácia quando utilizadas de forma integrada a metodologias ativas e ao currículo regular, promovendo experiências mais significativas e conectadas à realidade dos alunos. As contribuições dessa revisão sistemática reforçam, assim, a importância de uma abordagem multidisciplinar e crítica ao planejar a implementação de mídias imersivas no ensino de Matemática, articulando fundamentos pedagógicos, formação docente, infraestrutura tecnológica e objetivos educacionais claros.

5. Conclusões

A proposta de conduzir uma RSL a partir de artigos publicados nos últimos dez anos possibilita a percepção de que a adoção de recursos imersivos está crescendo em várias regiões, cada uma adaptando essas tecnologias às suas realidades locais. Países com maior acesso a infraestrutura tecnológica, como os EUA, tendem a utilizar tecnologias mais avançadas, como VR, enquanto outros, como Indonésia e Colômbia, focam em tecnologias mais acessíveis e práticas. A imersão tem se mostrado eficaz em melhorar o engajamento e a compreensão dos alunos, especialmente em disciplinas das áreas de Ciências e Matemática.

Ao utilizar as bases de dados apresentadas, a pesquisa destacou um quantitativo inicial de 258 estudos. Embora o número de artigos incluídos na RSL tenha sido significativamente reduzido, chegando a 60 textos, ainda representa uma quantidade expressiva, o que reforça a relevância do estudo. O público-alvo e local de realização dos estudos também atestam essa relevância, além de revelar a diversidade dos contextos em que as mídias imersivas estão sendo aplicadas. Esses dados evidenciam que uma ampla gama de ambientes e grupos de estudantes tem experimentado esses recursos, o que pode impactar a eficácia e a adaptabilidade das mídias imersivas no ensino, particularmente no campo da Matemática.

Ademais, alguns estudos identificam dificuldades relacionadas à acessibilidade das mídias imersivas para estudantes com deficiência, sugerindo que mais pesquisas devem ser direcionadas à adaptação dessas tecnologias para garantir que todos os alunos possam se beneficiar, independentemente de suas necessidades. Uma parte significativa dos estudos analisados destaca que, embora os resultados sejam promissores, a validação empírica do impacto das mídias imersivas ainda é limitada. Muitos estudos são conduzidos com um número reduzido de participantes, dificultando a generalização dos resultados. Assim, há uma necessidade de pesquisas mais robustas, com maior controle e amostras maiores, para avaliar efetivamente os benefícios dessas mídias a longo prazo.

Outra questão recorrente é a curva de aprendizado associada ao uso de mídias imersivas, tanto para professores quanto para alunos. Implementar essas tecnologias exige um nível de familiaridade técnica que pode ser uma barreira, especialmente em ambientes educacionais com recursos limitados ou falta de formação continuada. Muitos estudos apontam que o conteúdo matemático adaptado para mídias imersivas ainda é escasso, destacando uma oportunidade significativa para a criação de recursos educacionais específicos que aproveitem ao máximo as funcionalidades dessas plataformas tecnológicas, tanto em termos de visualização quanto de interação com os conceitos matemáticos.

A receptividade e atitude dos professores em relação ao uso dessas mídias também são pontos de destaque nos estudos. Enquanto muitos são positivos quanto ao potencial das mídias imersivas, há uma parcela que expressa ceticismo devido à falta de experiência ou confiança na eficácia desses recursos no ensino da Matemática. Essa descrença é uma das barreiras para uma integração curricular efetiva dessas tecnologias de forma orgânica ao currículo de Matemática. Implementações bem-sucedidas tendem a ser aquelas que alinham o uso das mídias imersivas com os objetivos de aprendizagem estabelecidos, em vez de tratá-las como atividades isoladas ou complementares.

Os resultados apresentados oferecem caminhos para que educadores e pesquisadores interessados possam adotar mídias imersivas no ensino de Matemática. É válido destacar que, mesmo considerando os estudos dos últimos dez anos, a maioria das pesquisas que abordam mídias imersivas para o ensino de Matemática surgiu entre 2020 e 2023. Dentre os fatores que impulsionaram o interesse e o desenvolvimento de tecnologias educacionais inovadoras, destaca-se a pandemia COVID-19 – elemento apontado em alguns estudos – que forçou uma rápida transição para o Ensino à Distância, evidenciando a necessidade de novas formas de engajamento e interação no ambiente virtual. Esse cenário acelerou a adoção de ferramentas digitais e gamificação como em uma tentativa de tornar o ensino não presencial mais dinâmico e eficaz.

Além disso, o avanço tecnológico durante a pandemia permitiu o desenvolvimento de dispositivos mais acessíveis e plataformas de aprendizagem mais robustas, facilitando a integração de mídias imersivas no currículo escolar. O aumento das pesquisas também reflete um crescente reconhecimento do potencial dessas tecnologias para melhorar a motivação dos alunos – elemento reiterado na maioria dos estudos –, proporcionar uma aprendizagem mais interativa e auxiliar na visualização de conceitos matemáticos complexos. Esses fatores combinados tornam as mídias imersivas um campo promissor e emergente no ensino de Matemática.

Nesse contexto, acredita-se que o objetivo do artigo de compreender como a perspectiva imersiva está sendo utilizada no ensino de Matemática foi atingido. O estudo não apenas destacou a eficácia dessas tecnologias em aprimorar a compreensão dos conceitos matemáticos e aumentar a motivação dos alunos, como também identificou práticas bem-sucedidas e desafios enfrentados durante a implementação. Ademais, o artigo contribuiu para a identificação de lacunas na literatura, sugerindo áreas que necessitam de mais pesquisa e desenvolvimento. Com efeito, espera-se que educadores e pesquisadores possam utilizar essas informações para aprimorar práticas pedagógicas e promover a adoção de mídias imersivas de forma mais informada e eficaz, ampliando significativamente a compreensão sobre a aplicação dessas mídias no ensino de Matemática.

Referências

- Abdul Hanid, M. F., Mohamad Said, M. N. H., Yahaya, N., e Abdullah Z. (2022). Effects of augmented reality application integration with computational thinking in geometry topics. *Education and Information Technologies*, 27, 9485–9521. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10994-w>.
- Agrawal, S., Simon, A., Bech, S., Bærentsen, K., e Forchhammer, S. (2019). Definindo Imersão: Revisão de Literatura e Implicações para Pesquisa em Experiências Audiovisuais Imersivas. *Revista da Sociedade de Engenharia de Áudio*, 68(6), 404-417. <https://doi.org/10.17743/jaes.2020.0039>.
- Ahsan, M. G. K., Miftahudin, e Cahyono, A. N. (2020). Designing augmented reality-based mathematics mobile apps for outdoor mathematics learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1567, e032004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1567/3/032004>.
- Amir, M. F., Ariyanti, N., Anwar, N., Valentino, E., e Afifah, D. S. N. (2020). Augmented Reality Mobile Learning System: Study to Improve PSTs' Understanding of Mathematical Development. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijim)*, 14(09), 239–247. <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i09.12909>.
- Andrea, R., Lailiyah, S., Ramadiani, R., e Agus, F. (2019). "Magic Boosed" an elementary school geometry textbook with marker-based augmented reality. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 17, 1242-1249. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i3.11559>.
- Andriyani, Buliali, J. L., e Pramudya, Y. (2022). The effectiveness of the application of a learning model with augmented reality on deaf students' geometry learning outcomes. *AIP Conference Proceedings*, 2479(1), e020003. <https://doi.org/10.1063/5.0099940>.
- Angraini, L. M., Yolanda, F., e Muhammad, I. (2023). Augmented Reality: The Improvement of Computational Thinking Based on Students' Initial Mathematical Ability. *International Journal of Instruction*, 16, 1033-1054. <https://doi.org/10.29333/iji.2023.16355a>.
- Bagossi, S., Swidan, O., e Arzarello, F. (2022). Timeline tool for analyzing the relationship between students, teachers, artifacts interactions, and meaning-making. *Journal on Mathematics Education*, 13(2), 357-382. <https://doi.org/10.22342/jme.v13i2.pp357-382>.
- Ban Hassan Majeed, e ALRikabi, H. T. (2022). Effect of Augmented Reality Technology on Spatial Intelligence among High School Students. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 17(24), 131–143. <https://doi.org/10.3991/ijet.v17i24.35977>.
- Barrios Soto, L. M., Maradey Coronell, J. A., e Delgado González, M. J. (2022). Realidad aumentada para el desarrollo del pensamiento geométrico variacional. *Revista Científica UISRAEL*, 9(3), 11–28. <https://doi.org/10.35290/rcui.v9n3.2022.599>.
- Betts, K., Reddy, P., Galoyan, T., Delaney, B., McEachron, D. L., Izzetoglu, K., e Shewokis, P. A. (2023). An examination of the effects of virtual reality training on spatial visualization and transfer of learning. *Brain Sciences*, 13(6), 890. <https://doi.org/10.3390/brainsci13060890>.
- Buchori, A., Prasetyowati, D., e Wijayanto, W. (2021). The effectiveness of using magic book Math in mathematics learning during the Covid-19 pandemic in senior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1), e012114. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012114>.
- Buitrago-Pulido, R. D. (2015). Incidencia de la realidad aumentada sobre el estilo cognitivo: Caso para el estudio de las matemáticas. *Educación y Educadores*, 18(1), 27-41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83439194002>.
- Cadavid, J. M., e Gómez, L. F. M. (2015). Uso de un entorno virtual de aprendizaje ludificado como estrategia didáctica en un curso de pre-cálculo: Estudio de caso en la Universidad Nacional de Colombia. *RISTI – Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação*, (16), 1-16. <https://doi.org/10.17013/risti.16.1-16>.

- Cahyono, A. N., Sukestiyarno, Y. L., Asikin, M., Miftahudin, M., Ahsan, M. G. K., e Ludwig, M. (2020). Learning Mathematical Modelling with Augmented Reality Mobile Math Trails Program: How Can It Work? *Journal on Mathematics Education*, 11(2), 185-196. <https://doi.org/10.22342/jme.11.2.10729.181-192>.
- Cai, S., Liu, E., Yang, Y., e Liang, J.-C. (2019). Tablet-based AR technology: Impacts on students' conceptions and approaches to learning mathematics according to their self-efficacy. *British Journal of Educational Technology*, 50, 248-263. <https://doi.org/10.1111/bjet.12718>.
- Cascales-Martínez, A., Martínez-Segura, M.-J., Pérez-López, D., e Contero, M. (2017). Using an Augmented Reality Enhanced Tabletop System to Promote Learning of Mathematics: A Case Study with Students with Special Educational Needs. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 13(2), 355-380. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2017.00621a>.
- Crompton, H. (2015). Using Context-Aware Ubiquitous Learning to Support Students' Understanding of Geometry. *Teaching & Learning Faculty Publications*, 26. https://digitalcommons.odu.edu/teachinglearning_fac_pubs/26.
- Del Cerro Velázquez, F., e Morales Méndez, G. (2021). Application in augmented reality for learning mathematical functions: A study for the development of spatial intelligence in secondary education students. *Mathematics*, 9(4), 369. <https://doi.org/10.3390/math9040369>.
- Demitriadou, E., Stavroulia, K.-E., e Lanitis, A. (2020). Comparative evaluation of virtual and augmented reality for teaching mathematics in primary education. *Education and Information Technologies*, 25(1), 381-401. <https://doi.org/10.1007/s10639-019-09973-5>.
- Dini Rahmawati, N., Buchori, A., e Hafidz Azizal Ghoftar, M. (2022). The Effectiveness of Using Virtual Reality-Based Mathematics Learning Media With an Ethnomathematical Approach. *KnE Social Sciences*, 7(14), 1005-1011. <https://doi.org/10.18502/kss.v7i14.12050>.
- Erturk, E.M., e Reynolds, G. (2020). The expanding role of immersive media in education. *Proceedings of the 14th International Conference on e-Learning (EL 2020)*.
- Fernandez, M. (2017). Augmented-Virtual Reality: How to Improve Education Systems. *Higher Learning Research Communications*, 7(1). <https://doi.org/10.18870/hlrc.v7i1.373>.
- Flores-Bascuñana, M., Diago, P. D., Villena-Taranilla, R., e Yáñez, D. F. (2020). On augmented reality for the learning of 3D-geometric contents: A preliminary exploratory study with 6th-grade primary students. *Education Sciences*, 10(1), 4. <https://doi.org/10.3390/educsci10010004>.
- Frisnoiry, S., Siregar, T. M., e Manurung, S. L. (2022). Mathematics Book Innovation Based on Digital Literature. *Journal of Education, Health and Sport*, 12(9), 288-296. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2022.12.09.033>.
- Gadille, M., Corvasce, C., e Impedovo, M. (2023). Material and socio-cognitive effects of immersive virtual reality in a French secondary school: Conditions for innovation. *Education Sciences*, 13(3), 251. <https://doi.org/10.3390/educsci13030251>.
- George Reyes, C. E. (2020). Percepción de estudiantes de bachillerato sobre el uso de Metaverse en experiencias de aprendizaje de realidad aumentada en matemáticas. *Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación*, 58, 143-159. <https://doi.org/10.12795/pixelbit.74367>.
- Guerrero, G., Ayala, A., Mateu, J., Casades, L., e Alamán, X. (2016). Integrating virtual worlds with tangible user interfaces for teaching mathematics: A pilot study. *Sensors*, 16(11), 1775. <https://doi.org/10.3390/s16111775>.
- Hartatiana, Darhim, e Nurlaelah, E. (2017). Student's Spatial Reasoning through Model Eliciting Activities with Cabri 3D. *Journal of Physics: Conference Series*, 895(1), e012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/895/1/012075>.

- Hendracipta, N., Rafianti, I., Pujiastuti, H., e Haryadi, R. (2021). The use of augmented reality to improve mathematics conceptual understanding of pre-service elementary education teachers. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796(1), 012018. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1796/1/012018>.
- Hernández Moreno, L. A., López Solórzano, J. G., Tovar Morales, M. T., Vergara Villegas, O. O., e Cruz Sánchez, V. G. (2021). Effects of using mobile augmented reality for simple interest computation in a financial mathematics course. *PeerJ Computer Science*, 7, e618. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.618>.
- Hsu, Y.-C. (2020). Exploring the Learning Motivation and Effectiveness of Applying Virtual Reality to High School Mathematics. *Universal Journal of Educational Research*, 8(2), 438-444. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080214>.
- Hsu, Y.-C. (2021). Exploring the Effectiveness of Two Types of Virtual Reality Headsets for Teaching High School Mathematics. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 17(8), em1986. <https://doi.org/10.29333/ejmste/10996>.
- Jaelani, A. (2021). SketchUp-aided generative learning in solid geometry: Does it affect students' spatial abilities? *Journal of Physics: Conference Series*, 1778(1), e012039. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1778/1/012039>.
- Jaelani, A., Kusumah, Y., e Turmudi, T. (2019). The design of SketchUp software-aided generative learning for learning geometry in senior high school. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320(1), e012048. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1320/1/012048>.
- Kartika, Y., Wahyuni, R., Sinaga, B., e Rajagukguk, J. (2019). Improving math creative thinking ability by using Math Adventure educational game as an interactive media. *Journal of Physics: Conference Series*, 1179(1), e012078. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1179/1/012078>.
- Khairunnisak, C., Elizar, E., Johar, R., e Utami, T. P. (2018). Teachers' use of learning resources in spatial learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1088(1), e012035. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1088/1/012035>.
- Kitchenham, B. (2004). *Procedures for performing systematic reviews* (Technical Report No. TR/SE-0401). Keele University, Department of Computer Science.
- Lainufar, Mailizar, e Johar, R. (2020). A need analysis for the development of augmented reality based-geometry teaching instruments in junior high schools. *Journal of Physics: Conference Series*, 1460(1), e012034. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1460/1/012034>.
- Lasica, I.-E., Meletiou-Mavrotheris, M., e Katzis, K. (2020). Augmented reality in lower secondary education: A teacher professional development program in Cyprus and Greece. *Education Sciences*, 10(4), 121. <https://doi.org/10.3390/educsci10040121>.
- Lazo-Amado, M., Cueva-Ruiz, L., e Andrade-Arenas, L. (2022). Prototyping a mobile application for children with dyscalculia in primary education using augmented reality. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 13(10). <http://dx.doi.org/10.14569/IJACSA.2022.0131085>.
- MacCallum, K. (2022). The integration of extended reality for student-developed games to support cross-curricular learning. *Frontiers in Virtual Reality*, 3, e888689. <https://doi.org/10.3389/frvir.2022.888689>.
- Moral-Sánchez, S. N., Sánchez-Compañá, M. T., e Romero, I. (2022). Geometry with a STEM and gamification approach: A didactic experience in secondary education. *Mathematics*, 10(18), 3252. <https://doi.org/10.3390/math10183252>.
- Orcos, L., Jordán, C., e Magreñán, A. (2019). 3D visualization through the hologram for the learning of area and volume concepts. *Mathematics*, 7(3), 247. <https://doi.org/10.3390/math7030247>.
- Poçan, S., Altay, B., e Yaşaroğlu, C. (2023). The Effects of Mobile Technology on Learning Performance and Motivation in Mathematics Education. *Education and Information Technologies*, 28, 683-712. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11166-6>.

- Pramuditya, S. A., Subali Noto, M., e Azzumar, F. (2022). Characteristics of students' mathematical problem solving abilities in open-ended-based virtual reality game learning. *Infinity Journal*, 11(2), 255-272. <https://doi.org/10.22460/infinity.v11i2.p255-272>.
- Pujiastuti, H., e Haryadi, R. (2023a). Enhancing mathematical literacy ability through guided inquiry learning with augmented reality. *Journal of Education and E-Learning Research*, 10(1), 43–50. <https://doi.org/10.20448/jeelr.v10i1.4338>.
- Pujiastuti, H., e Haryadi, R. (2023b). Hybrid learning impact with augmented reality to improve higher order thinking skills of students. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, 10(12), 7-18. <https://doi.org/10.21833/ijaas.2023.12.002>.
- Qomario, Q., Tohir, A., e Prastyo, C. (2022). Math poster with augmented reality to increase learning outcome of high school students. *International Journal of Trends in Mathematics Education Research*, 5(1), 69-73. <https://doi.org/10.33122/ijtmer.v5i1.106>.
- Richardo, R., Wijaya, A., Rochmadi, T., Abdullah, A. A., Nurkhamid, Astuti, A. W., e Hidayah, K. N. (2023). Ethnomathematics augmented reality: Android-based learning multimedia to improve creative thinking skills on geometry. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(4), 731-737. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.4.1860>.
- Rondina, J., e Roble, D. (2019). Game-based design mathematics activities and students' learning gains. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication*, 9, 1-7. <https://doi.org/10.7456/10901100/001>.
- Sandoval-Henríquez, F.J., Sáez-Delgado, F. e Badilla-Quintana, M. G. (2024). Systematic review on the integration of immersive technologies to improve learning in primary education. *Journal of Computers in Education*, 12, 477-502 (2025). <https://doi.org/10.1007/s40692-024-00318-x>.
- Saundarajan, K., Osman, S., Kumar, J. A., Daud, M. F., Abu, M. S., e Pairan, M. R. (2020). Learning Algebra using Augmented Reality: A Preliminary Investigation on the Application of Photomath for Lower Secondary Education. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 15(16), 123–133. <https://doi.org/10.3991/ijet.v15i16.10540>.
- Schutera, S., Schnierle, M., Wu, M., Pertzelt, T., Seybold J., Bauer, P., Teutscher, D., Raedle, M., Heß-Mohr, N., Röck, S., e Krause, M. J. (2021). On the potential of augmented reality for mathematics teaching with the application cleARmaths. *Education Sciences*, 11(8), 368. <https://doi.org/10.3390/educsci11080368>.
- Silva-Díaz, F., Carrillo-Rosúa, J., e Fernández-Plaza, J. (2021). Uso de tecnologías inmersivas y su impacto en las actitudes científico-matemáticas del estudiantado de educación secundaria obligatoria en un contexto en riesgo de exclusión social. *Educación*, 57(1), 119-138. <https://doi.org/10.5565/rev/educar.1136>.
- Siregar, T. M., Ritonga, A., Darma, J., e Dongoran, F. R. (2022). The Development of Digital Books Aided Augmented Reality (AR) to Improve Self Efficacy in Favor of Distance Learning. *Journal of Education, Health and Sport*, 12(9), 61–67. <https://doi.org/10.12775/JEHS.2022.12.09.008>.
- Sudirman, Kusumah, Y. S., e Martadiputra, B. A. P. (2022). Investigating the Potential of Integrating Augmented Reality into the 6E Instructional 3D Geometry Model in Fostering Students' 3D Geometric Thinking Processes. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (ijIM)*, 16(06), 61–80. <https://doi.org/10.3991/ijim.v16i06.27819>.
- Suherman, S. N. A., Zafirah, A., Agusti, F. A., e Usman, R. (2020). The Effectiveness of AR-Geometry Interactive Book in Increasing Students' Mathematical Reasoning Skill. *Journal of Physics: Conference Series*, 1554(1), e012075. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1554/1/012075>.
- Suryanti, S., Arifani, Y., e Sutaji, D. (2020). Augmented Reality for Integer Learning: Investigating its potential on students' critical thinking. *Journal of Physics: Conference Series*, 1613(1), e12041. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1613/1/012041>.

- Tang, Y. M., e Yu, K. M. (2017). Development and evaluation of a mobile platform for teaching mathematics of CAD subjects. *Computer-Aided Design and Applications*, 15(2), 164–169. <https://doi.org/10.1080/16864360.2017.1375665>.
- Tursynkulova, E., e Madiyarov, N. (2023). Applying dynamic geometry environment software as a visualization tool for teaching planimetry construction tasks. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(12), 1950-1958. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.12.2009>.
- Volioti, C., Orovas, C., Sapounidis, T., Trachanas, G., e Keramopoulos, E. (2023). Augmented reality in primary education: An active learning approach in mathematics. *Computers*, 12(10), 207. <https://doi.org/10.3390/computers12100207>.
- Watts, C. M., Moyer-Packenham, P. S., Tucker, S. I., Bullock, E. P., Shumway, J. F., Westenskow, A., Boyer-Thurgood, J., Anderson-Pence, K., Mahamane, S., e Jordan, K. (2016). An examination of children's learning progression shifts while using touch screen virtual manipulative mathematics apps. *Computers in Human Behavior*, 64, 814–828. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.07.029>.
- Zabala-Vargas, S. A., García-Mora, L. H., Arciniegas-Hernandez, E., Reina-Medrano, J. I., de Benito-Crosetti, B., e Darder-Mésquida, A. (2021). Strengthening Motivation in the Mathematical Engineering Teaching Processes – A Proposal from Gamification and Game-Based Learning. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (ijET)*, 16(06), 4–19. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i06.16163>.
- Zuo, T., Jiang, J., Spek, E. V. der, Birk, M., e Hu, J. (2022). Situating learning in AR fantasy: Design considerations for AR game-based learning for children. *Electronics*, 11(15), 2331. <https://doi.org/10.3390/electronics11152331>.

Contribución de los autores

Lana Priscila Souza: Conceitualização – Curadoria de dados – Análise formal – Redação do rascunho original – Pesquisa – Metodologia – Redação, revisão e edição.

Sandro César Silveira Jucá: Conceitualização – Metodologia – Análise formal – Revisão e edição.

Auzuir Ripardo de Alexandria: Conceitualização – Metodologia – Análise formal – Revisão e edição.

Implicaciones éticas

Não há implicações éticas a declarar na preparação ou publicação deste artigo.

Financiación

Esta pesquisa foi financiada pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de bolsa de doutorado da primeira autora e bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) do segundo autor. Também contou com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Conflictos de interés

Os autores declaram não haver conflitos de interesse em relação à preparação ou publicação deste artigo.

Agradecimientos

A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado e à Secretaria da Educação do Estado do Ceará (SEDUC-CE) pela concessão do afastamento para realização do curso de doutorado, reconhecendo em ambos o apoio essencial para a consolidação de sua trajetória acadêmica. O segundo autor agradece ao CNPq pela bolsa de Produtividade em Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora (DT) e à Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP) pelo suporte ao projeto concedido pela Chamada Universal UNI-0210-00533.01.00/23. O terceiro autor agradece ao CNPq (editais 305359/2021-5, 300500/2025-4 e 442182/2023-6); ao Edital Interno Simplificado PRPI/Auxílio-Pós-Graduação para Programas de Pós-Graduação Stricto Sensu do IFCE, à FUNCAP (UNI-0210-00699.01.00/23, 07548003/2023 e Edital 38/2022); à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Istituto Italiano di Tecnologia (IIT).