

Formação Docente para o Ensino de Matemática no Metaverso: uma Revisão Sistemática da Literatura (2020–2025)

Erico Darlan Correa¹, Luis Carlos Canno², Vera Maria Jarcovis Fernandes³,
Alex Paubel Junger⁴

¹UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-6447-776X>

²UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0001-9331-9309>

³UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brasil. ORCID:
<https://orcid.org/0000-0002-4331-1701>

⁴UNICSUL – Universidade Cruzeiro do Sul; Universidade Virtual do Estado de São Paulo - UNIVESP, São Paulo, SP, Brasil. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0148-2457>

Resumo:

O presente estudo investigou o estado da arte sobre a formação de professores de matemática para a utilização do metaverso e tecnologias imersivas, compreendendo o período de 2020 a 2025. Através de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) baseada no protocolo PRISMA, complementada por uma análise bibliométrica, examinou-se como a literatura acadêmica aborda a preparação docente para estes novos ambientes virtuais. Os resultados indicam um crescimento exponencial das publicações após 2021, impulsionado pela reconfiguração do ensino pós-pandemia. Identificou-se que, embora o metaverso ofereça potenciais significativos para a visualização geométrica e o engajamento discente, a formação de professores permanece incipiente, carecendo de abordagens que integrem o conhecimento tecnológico ao pedagógico (TPACK). O estudo conclui que a superação do deslumbramento tecnológico em prol de uma práxis pedagógica eficaz depende de programas de formação continuada que mitiguem a ansiedade tecnológica e fomentem a autoria docente em ambientes imersivos.

Palavras-chave: Metaverso. Formação de Professores. Ensino de Matemática. TPACK. Revisão Sistemática.

Date of Submission: 16-05-2026

Date of Acceptance: 26-05-2026

I. Introdução E Justificativa

A contemporaneidade impõe à educação um ritmo de transformação sem precedentes, impulsionado pela presença das tecnologias digitais e pela necessidade de reconfigurar os espaços de aprendizagem para além das fronteiras físicas da sala de aula tradicional (Tlili et al., 2022). Neste cenário, o ensino de Matemática, historicamente desafiado pela abstração de seus conceitos e pelas dificuldades de visualização espacial por parte dos discentes, encontra no fenômeno do "Metaverso" um terreno fértil para a inovação pedagógica.

O presente estudo se situa na interseção entre a Educação Matemática, a Formação de Professores e as Tecnologias Imersivas, propondo uma análise crítica sobre como a docência está sendo preparada para habitar e mediar o conhecimento nesses novos ecossistemas virtuais.

II. Contextualização: O Renascimento Do Metaverso E A Educação Matemática

Embora o termo "Metaverso" tenha ganhado tração midiática e acadêmica significativa após 2021, Lemes, Buesso Junior e Rodrigues (2024, p. 2), com o reposicionamento estratégico de grandes corporações de tecnologia, o conceito não é inédito. Etimologicamente, a palavra é uma composição do prefixo grego "meta" (além/transcendência) e do sufixo "verso" (universo), denotando um universo que transcende a realidade física. Como elucidam Lemes, Buesso Junior e Rodrigues (2024, p. 2):

Os metaversos são um conceito antigo da tecnologia digital que voltou à tona nos últimos anos, com o avanço dos hardwares de alta potência e o baixo custo. Esse tipo de plataforma tem ganhado cada vez mais atenção de empresas, marcas e consumidores, e promete revolucionar a forma como nos comunicamos, consumimos, aprendemos e ensinamos.

Historicamente, o termo foi cunhado por Neal Stephenson em seu romance *Snow Crash* (1992), descrevendo um ambiente virtual gerado por computador onde humanos interagem através de avatares (Chua; Yu, 2023; Araújo, 2023). No entanto, o que difere o momento atual (2020-2025) das tentativas anteriores, como

o *Second Life* nos anos 2000, é a convergência de tecnologias de Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA) e conectividade de alta velocidade, permitindo experiências imersivas, síncronas e persistentes que mimetizam ou expandem a realidade física (Reis et al., 2024).

No âmbito específico da Matemática, a literatura aponta que a dificuldade em fazer com que a apresentação de conteúdos complexos aos estudantes e a falta de inovação contribuem para a baixa proficiência e o desinteresse dos discentes (Santos, 2024). Nesse contexto, as tecnologias imersivas emergem como ferramentas potentes para a concretização de conceitos abstratos. Segundo Topraklıkoğlu e Öztürk (2025), o uso de aplicações no metaverso para o ensino de geometria, por exemplo, permite que estudantes visualizem e manipulem objetos tridimensionais de maneiras impossíveis em meios bidimensionais, superando limitações de livros didáticos e quadros negros.

Voulgari, Panagopoulos e Garneli (2025, p. 1) corroboram essa visão ao analisarem a Realidade Aumentada, afirmando que essa tecnologia é reconhecida como uma ferramenta promissora que "fomenta a manipulação, a visualização e a contextualização de conceitos abstratos, aumentando a motivação e a compreensão dos alunos".

A Problemática: O Dilema da Formação Docente

Apesar do potencial tecnológico esperado, a inserção do metaverso na educação matemática esbarra em um obstáculo crítico: a formação de professores (Jailani, Rosli e Mahmud, 2025). A literatura recente indica que a simples disponibilização de infraestrutura não garante a inovação pedagógica (Saritaş; Topraklıkoğlu, 2022). Jailani, Rosli e Mahmud (2025) argumentam que a eficácia das intervenções tecnológicas depende intrinsecamente do Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (TPACK) dos professores.

Identifica-se, portanto, um hiato entre a sofisticação das ferramentas disponíveis e a competência docente para utilizá-las didaticamente. Reis et al. (2024, p. 107) descrevem este cenário como um dilema:

O contexto tecnológico atual afeta os processos de ensino e aprendizagem e, como resultado, é necessário repensar todos os aspectos envolvidos nesse processo. É crucial refletir sobre os desafios enfrentados pelos professores no uso dessas tecnologias imersivas, especialmente em como eles estão sendo treinados. A importância de equipar adequadamente os professores [...] não deve ser negligenciada.

Muitos docentes, embora reconheçam as oportunidades de desenvolvimento de conhecimento prático e resolução de problemas oferecidas pelas tecnologias digitais inseridas no processo de aprendizagem, enfrentam limitações decorrentes de lacunas geracionais e da falta de compreensão sobre como integrar essas tecnologias ao currículo de forma orgânica (Reis et al., 2024). A formação, muitas vezes, foca no aspecto instrumental da tecnologia, negligenciando as dimensões pedagógicas e a gestão da atenção dos alunos em ambientes imersivos, fatores cruciais para o sucesso da aprendizagem (Araújo, 2023).

Conforme apontam Lemes, Buesso Junior e Rodrigues (2024), o metaverso promete revolucionar a forma como aprendemos e ensinamos, tornando o processo mais inclusivo e imersivo. No entanto, para que essa promessa se concretize, é fundamental superar a visão instrumentalista. A simples transposição de métodos tradicionais para o ambiente virtual, como aulas expositivas em salas de aula virtuais que mimetizam as físicas, subutiliza o potencial da tecnologia.

Nesse sentido, a formação docente deve capacitar o professor a atuar como um *designer* de experiências de aprendizagem, capaz de criar cenários onde os alunos não sejam apenas consumidores de conteúdo, mas participantes ativos. Estudos indicam que a eficácia do uso do metaverso depende diretamente da capacidade do professor de orquestrar interações significativas, equilibrando a liberdade de exploração com a orientação pedagógica necessária para evitar a dispersão e garantir o foco nos objetivos de aprendizagem (Reis et al., 2024; Araújo, 2023).

Além disso, é crucial considerar a dimensão da acessibilidade e da equidade. Embora o metaverso ofereça oportunidades de superar barreiras geográficas e físicas, a falta de infraestrutura adequada e o custo dos equipamentos ainda representam desafios significativos para a sua implementação em larga escala, especialmente em contextos de vulnerabilidade social (Lemes; Buesso Junior; Rodrigues, 2024). Portanto, a formação docente também deve abordar estratégias para lidar com essas limitações, promovendo o uso de tecnologias mais acessíveis, como a realidade aumentada em dispositivos móveis, e fomentando a discussão sobre a inclusão digital como um direito fundamental (Maghaydah et al., 2024).

Em suma, a preparação para o ensino no metaverso exige uma abordagem holística que integre conhecimentos técnicos, pedagógicos e éticos (Thohir et al., 2023). Somente assim será possível formar educadores aptos a navegar nesse novo território, transformando o potencial imersivo do metaverso em experiências de aprendizagem reais, significativas e transformadoras para todos os estudantes.

Justificativa

A decisão de dedicar um capítulo específico à Revisão Sistemática da Literatura (RSL) nesta tese transcende a exigência protocolar de levantamento bibliográfico. Ela se fundamenta na necessidade imperativa

de conferir rigor metodológico, transparência e reprodutibilidade ao mapeamento de um campo científico em rápida ebulição e, por vezes, fragmentado: a interseção entre o Metaverso, o ensino de Matemática e a formação docente.

Em primeiro lugar, a adoção de um protocolo estruturado, pautado nas diretrizes PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), justifica-se pela necessidade de minimizar vieses na seleção do referencial teórico. Conforme preconizam Page et al. (2021), a RSL permite uma identificação sistemática e transparente das evidências, garantindo que as lacunas apontadas por esta tese não sejam fruto de uma seleção arbitrária de textos, mas sim o reflexo fiel do estado da arte global. No contexto da Engenharia de Software e Tecnologias Educacionais, Kitchenham e Charters (2007) reforçam que tal metodologia é crucial para identificar não apenas o que já foi feito, mas as limitações metodológicas recorrentes que esta tese busca superar.

Em segundo lugar, a RSL se justifica pela natureza "emergente e disruptiva" do objeto de estudo. A literatura aponta que, embora o conceito de Metaverso tenha raízes na ficção da década de 1990, sua apropriação pedagógica funcional sofreu um crescimento exponencial e desordenado entre 2020 e 2025, impulsionado pela pandemia de Covid-19 e pelo reposicionamento da indústria tecnológica (Saritaş; Topraklıkoğlu, 2022; Tlili et al., 2022). Nesse cenário de "hype" tecnológico, torna-se essencial filtrar o que é evidência empírica de aprendizagem daquilo que é apenas especulação futurista. A RSL atua, portanto, como um instrumento de vigilância epistemológica, permitindo distinguir experiências pedagógicas validadas de propostas meramente instrumentais.

Adicionalmente, a elaboração deste capítulo é fundamental para evidenciar a lacuna específica que esta tese pretende preencher: o "dilema da formação docente" (Reis et al., 2024). Enquanto revisões anteriores indicam uma saturação de estudos focados na aceitação tecnológica por parte dos alunos ou no desenvolvimento de *software* (Alfaisal et al., 2022), a presente RSL demonstra a escassez de modelos formativos que articulem o Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (TPACK) especificamente para professores de matemática em ambientes imersivos (Thohir et al., 2023; Jailani; Rosli; Mahmud, 2025).

Por fim, a RSL justifica-se como alicerce para a tomada de decisão no desenho da intervenção proposta nesta tese. Ao analisar sistematicamente as metodologias de ensino (como a gamificação e a aprendizagem baseada em problemas) e as tecnologias (RV, RA) que obtiveram êxito ou falharam na literatura recente (Srisawat; Piriyaşurawong, 2022; Gencer; Şensoy; Gencer, 2025), o capítulo da RSL não apenas situa o leitor, mas fundamenta as escolhas teóricas e práticas do pesquisador, assegurando que sua tese não seja uma reinvenção da roda, mas um avanço incremental e sustentado sobre o conhecimento científico acumulado.

Não obstante, a realização desta pesquisa também se justifica pela necessidade de mapear e sistematizar o conhecimento produzido sobre a formação de professores de matemática para o uso do metaverso no recorte temporal de 2020 a 2025. Esse período marca uma inflexão no campo, caracterizada pela aceleração da transformação digital da educação no contexto pós-pandemia e pelo amadurecimento de tecnologias de Realidade Estendida (XR).

A relevância acadêmica e social deste estudo sustenta-se na compreensão de que ambientes virtuais imersivos promovem uma mudança de paradigma na aprendizagem ao fomentar o aprendizado corpóreo e sensorial (Silaiyappan; Palaniyandi, 2025), o que exige a preparação docente para mediar tais experiências físicas e cognitivas no ensino da matemática. Adicionalmente, busca-se a superação do determinismo tecnológico ao centralizar a formação do professor no debate pedagógico, visando a criação de ambientes dinâmicos e sustentáveis que evitem a subutilização do metaverso nas escolas frente a problemas históricos de inovação (Gencer; Şensoy; Gencer, 2025). Por fim, a sistematização da literatura fornece evidências essenciais para a formulação de políticas públicas, identificando barreiras estruturais e cognitivas fundamentais para o embasamento de currículos de licenciatura e programas de formação continuada alinhados à realidade das instituições de ensino (Han et al., 2025).

III. Metodologia

Para investigar o estado da arte sobre a formação de professores de matemática no contexto do metaverso, este estudo adotou como método a Revisão Sistemática da Literatura (RSL). Esta abordagem é definida como um método sistemático, aberto e reproduzível para identificar, avaliar e sintetizar os resultados de estudos anteriores (Kitchenham e Charters, 2007; Page et al., 2021).

A condução desta revisão seguiu rigorosamente as diretrizes do protocolo PRISMA 2020 (Page et al., 2021) (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), garantindo a transparência, o rigor metodológico e a auditabilidade do processo de seleção e análise dos dados. O protocolo de pesquisa foi desenhado para minimizar vieses e responder a questões específicas sobre a interseção entre tecnologias imersivas e a formação docente.

Questão de Pesquisa

A revisão foi orientada pela seguinte questão de pesquisa: como a literatura publicada entre 2020 e 2025 tem abordado a formação de docentes que atuam, ou podem atuar, em ambientes caracterizados como metaverso no ensino de Matemática na educação básica? Essa formulação busca contemplar, de modo articulado, as dimensões bibliométrica, pedagógica e formativa do tema.

Fontes de Informação e Estratégia de Busca

A estratégia de busca foi desenhada para capturar tanto o cenário internacional quanto a produção acadêmica nacional relevante.

Bases de Dados

As buscas foram realizadas nas seguintes bases de dados, selecionadas por sua relevância educacional e científica:

As buscas foram realizadas em bases de dados selecionadas por sua relevância educacional e científica, abrangendo o cenário internacional através do ERIC (Education Resources Information Center) e o panorama nacional por meio do OASISBR e da BDTD (Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações). A escolha do ERIC justifica-se por ser uma base especializada que reúne vasta literatura educacional mundial, com filtros refinados e critérios de indexação que asseguram a qualidade e a relevância científica para o campo educacional, potencializando a precisão das estratégias de busca. Por sua vez, o OASISBR e a BDTD, ambos serviços coordenados pelo IBICT, são essenciais para capturar a especificidade da produção científica brasileira em nível de graduação e pós-graduação. O OASISBR atua como um mecanismo de busca multidisciplinar que integra repositórios institucionais e periódicos, favorecendo a identificação de estudos contextualizados na realidade brasileira, enquanto a BDTD concentra-se na disponibilização de teses e dissertações nacionais, oferecendo um panorama abrangente da pesquisa *stricto sensu* em educação e áreas afins.

Strings de Busca

Foram utilizados operadores booleanos (AND, OR) para combinar descritores relacionados ao fenômeno tecnológico, ao contexto educacional e à área específica da matemática. A *string* principal, adaptada conforme a sintaxe de cada base, foi estruturada da seguinte forma:

(Metaverse OR "Meta-verse" OR "Virtual World*" OR "3D Virtual Environment*" OR "Immersive Environment*" OR "Virtual Reality" OR "VR Education" OR "Augmented Reality") AND (Education OR Learning OR Teaching OR "Educational Technology" OR Pedagogic OR "Teacher Training" OR "Teacher Formation" OR "Teacher Education" OR "Formação de Professores") AND (Mathematic* OR "Math Education")

A busca foi aplicada nos campos de Título, Resumo e Palavras-chave, utilizando também descritores em português para as bases nacionais.

Crítérios de Elegibilidade

A seleção dos estudos obedeceu a critérios rigorosos de inclusão e exclusão para garantir a pertinência temática.

Crítérios de Inclusão

A seleção dos estudos para esta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) seguiu critérios de inclusão rigorosos, começando pela temporalidade, que abrange publicações de janeiro de 2020 a outubro de 2025, um período crucial marcado pela ascensão do metaverso e pelas demandas educacionais pós-pandêmicas. Em relação à temática, foram incluídas pesquisas que abordam explicitamente o Metaverso, Realidade Virtual (RV) ou Realidade Aumentada (RA) aplicadas ao ensino de Matemática ou Ciências, sendo a inclusão de "Ciências" justificada pela interdisciplinaridade frequente em ambientes imersivos e pela relativa escassez de trabalhos estritamente focados apenas em Matemática. É mandatório que os trabalhos possuam foco no docente, tratando de aspectos de formação, competências, práticas ou desafios dos professores. Por fim, foram aceitas diversas tipologias acadêmicas — artigos empíricos ou teóricos, estudos de caso, teses e dissertações — publicadas em português, inglês ou quaisquer outros idiomas.

Crítérios de Exclusão

Quanto aos critérios de exclusão, foram descartados os estudos com desalinhamento temático, ou seja, aqueles focados em áreas não educacionais ou em tecnologias que não fossem estritamente imersivas (como RV, RA e Metaverso), garantindo que o corpus mantivesse a pertinência pedagógica e tecnológica ao objeto de estudo. Da mesma forma, foram excluídas as pesquisas que não apresentavam foco claro na formação ou atuação docente, visto que a questão central da RSL é investigar o dilema da preparação de professores para este novo ecossistema. Por fim, a eliminação de duplicidades nas bases de dados consultadas seguiu os princípios do protocolo PRISMA, assegurando o rigor metodológico e evitando vieses na contagem e análise dos trabalhos.

Processo de Seleção e Triagem

O processo de seleção dos estudos obedeceu estritamente ao fluxo metodológico estabelecido pelo protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), sendo estruturado em quatro fases sequenciais para garantir a transparência e a reprodutibilidade da Revisão Sistemática da Literatura. A primeira fase, denominada **Identificação**, consistiu na aplicação rigorosa das *strings* de busca nas bases de dados pré-selecionadas (ERIC, OASISBR e BDTD). O resultado desta busca inicial foi imediatamente transferido para o gerenciador de referências Zotero, onde a função crucial de remoção de duplicatas foi executada, garantindo que cada estudo fosse considerado apenas uma vez, um pilar fundamental para manter a integridade e a validade estatística do *corpus* primário.

A segunda fase, a **Triagem (Screening)**, representou a primeira filtragem crítica realizada pelo pesquisador. Nesta etapa, a leitura atenta e sistemática dos títulos e dos resumos dos trabalhos identificados permitiu a aplicação preliminar dos critérios de elegibilidade. A consistência da seleção foi assegurada pelo descarte imediato daqueles estudos que claramente não se encaixavam no escopo temático da pesquisa, como trabalhos focados em áreas não relacionadas ao ensino de Matemática ou que abordavam tecnologias não imersivas. É importante ressaltar que, em situações de ambiguidade ou quando a relevância do estudo não pôde ser plenamente determinada apenas pelo resumo, o princípio da cautela prevaleceu, e o estudo foi mantido provisoriamente para avaliação mais aprofundada na etapa subsequente, minimizando o risco de exclusão prematura de evidências relevantes.

Na terceira fase, a **Elegibilidade**, os textos completos dos estudos pré-selecionados foram submetidos a uma leitura exaustiva e integral. Esta é a etapa decisiva onde o foco se desloca da pertinência aparente para a conformidade estrita aos critérios de inclusão definidos no protocolo. Aqui, não se trata apenas de confirmar a temática, mas de realizar a avaliação da qualidade metodológica dos trabalhos, analisando o *design* da pesquisa, a robustez dos dados e a validade das conclusões. Somente aqueles estudos que demonstravam rigor metodológico e aderência inequívoca à intersecção entre formação docente, matemática e tecnologias imersivas foram considerados aptos a avançar no processo.

Finalmente, a última fase, a **Inclusão**, culminou na consolidação do *corpus* nuclear da revisão. Este conjunto final de trabalhos representa a base empírica e teórica sobre a qual toda a extração e análise de dados foram realizadas, fornecendo a sustentação para as discussões apresentadas no Capítulo 3. A transparência e o detalhamento do percurso, desde a busca inicial até a inclusão final, são essenciais para que a presente RSL cumpra seu objetivo de mapear o estado da arte de forma rigorosa e auditável.

Procedimentos de Extração e Análise de Dados

A etapa de extração e síntese dos dados revelou-se um momento crucial e demandou a adoção de uma abordagem metodológica híbrida. Dada a natureza recente e em rápida expansão do tema, o volume de literatura exigiu uma estratégia que combinasse o discernimento crítico da curadoria humana com a capacidade de processamento em larga escala da Inteligência Artificial. Este casamento metodológico foi necessário não apenas para gerenciar o volume textual, mas para garantir que a análise aprofundada do *corpus* nuclear fosse conduzida com o máximo de eficiência e rigor possível.

Para instrumentalizar essa sinergia entre o humano e a máquina, recorreu-se à ferramenta **NotebookLM** (Google). Esta escolha não foi aleatória, pois trata-se de um modelo de linguagem fundamentado (*grounded language model*), cuja principal vantagem reside na sua capacidade de restringir a análise estritamente aos documentos de entrada fornecidos pelo pesquisador. Tal característica é um pilar de rigor epistemológico, pois mitiga o risco de alucinações ou inferências não suportadas, um desafio comum em modelos de linguagem abertos, assegurando que todas as evidências sintetizadas sejam rastreáveis e verificáveis nas fontes primárias selecionadas.

O procedimento analítico iniciou-se com a etapa fundamental de **Ingestão do Corpus**. Os textos completos dos estudos que passaram pela crivagem de elegibilidade – ou seja, those que sobreviveram a todas as fases do protocolo PRISMA – foram integralmente importados para o ambiente seguro da ferramenta. Ao alimentar o modelo exclusivamente com este conjunto final de fontes, estabeleceu-se um universo de análise delimitado e preciso, garantindo que o escopo da extração e da síntese se mantivesse fiel ao referencial teórico validado para esta tese.

A segunda etapa demandou uma cuidadosa **Engenharia de Prompts para Extração de Dados**. Esta fase consistiu na elaboração de consultas textuais altamente estruturadas e específicas, desenhadas para dialogar diretamente com a Questão de Pesquisa (QP) que orientou a revisão. A precisão dessas interrogações foi decisiva para garantir que o modelo de IA extraísse apenas as informações mais relevantes e articuladas ao tema central, funcionando como um filtro de conteúdo que transforma o text bruto em dados acionáveis para a análise.

Dentro desta fase de extração, uma linha de investigação focou nos **Dados Bibliométricos**. As consultas estruturadas foram projetadas para catalogar e quantificar as características formais da produção científica, tais como o ano exato de publicação, o país de origem da pesquisa e o nível de ensino que servia de palco para a intervenção didática. Além disso, buscou-se identificar o foco curricular específico da Matemática abordado, permitindo traçar um perfil descritivo do campo emergente.

Em paralelo, foram extraídos os dados de **Categorização Temática**, representando o cerne da análise qualitativa. As interrogações se aprofundaram em elementos pedagógicos cruciais, buscando a síntese das competências docentes citadas (notavelmente o modelo TPACK), as tecnologias imersivas específicas utilizadas nos estudos (como GeoGebra, Minecraft, Realidade Virtual com óculos) e as metodologias pedagógicas empregadas nas intervenções. Estes dados eram essenciais para mapear como a literatura propõe superar o dilema da formação docente.

Em seguida, o **NotebookLM** avançou para a **Análise de Conteúdo e Síntese**. Nesta etapa, a IA não apenas extraiu fatos isolados, mas foi empregada para realizar uma leitura semântica profunda e comparativa do *corpus*. Ela atuou como um assistente de curadoria, identificando e agrupando automaticamente padrões recorrentes, desafios pedagógicos comuns na implementação do metaverso e lacunas metodológicas ainda não exploradas, facilitando a identificação de conexões conceituais que seriam onerosas de rastrear manualmente em um grande volume de texto. **É fundamental ressaltar que a ferramenta serviu unicamente como auxiliar na concepção e organização inicial do texto**, jamais substituindo o discernimento acadêmico.

O rigor do método foi concluído com a **Triangulação e Validação Humana**. Reconhecendo a natureza assistida da análise, todas as inferências e sínteses geradas pelo modelo de Inteligência Artificial foram submetidas à rigorosa verificação humana por amostragem. Esta conferência cruzada dos *insights* da ferramenta com os textos originais foi uma etapa deliberada para assegurar a fidelidade factual e a integridade da síntese qualitativa, reafirmando que o pesquisador manteve a autoridade interpretativa final sobre os dados e que **cada conclusão apresentada foi verificada minuciosamente pelo autor**, garantindo a confiabilidade e a robustez das discussões apresentadas.

IV. Resultados E Discussões

A análise dos resultados desta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) fundamenta-se na leitura aprofundada do *corpus* nuclear, que foi rigorosamente composto por quatro estudos seminais que se situam na complexa interseção entre a formação de professores, o ensino de matemática e as tecnologias imersivas, especificamente o Metaverso, a Realidade Virtual e a Realidade Aumentada. A partir da análise de conteúdo desses trabalhos, foi possível identificar e estruturar a discussão em torno de três eixos temáticos centrais que emergiram da literatura: a exigência premente de novos saberes docentes à luz do arcabouço teórico do TPACK, a identificação da Geometria como o *locus* privilegiado para a aplicação didática dessas tecnologias, e a inevitável discussão sobre as tensões entre os modelos tradicionais de formação e os desafios inerentes à implementação tecnológica em sala de aula.

O processo metodológico de seleção, que utilizou o protocolo PRISMA, resultou em uma estratificação progressiva do universo de documentos inicialmente identificados. Partindo de uma busca abrangente que totalizou 100 trabalhos iniciais, a primeira filtragem temática indicou que 63 desses estudos mantinham aderência direta ao campo da Educação Matemática. A esse grupo, seguiu-se uma filtragem mais específica que exigiu que os trabalhos tratassem da atuação ou formação docente, o que reduziu o conjunto para 22 estudos.

Deste grupo de elegíveis, apenas 4 trabalhos seminais constituíram o *corpus* nuclear que se qualificou para a análise qualitativa aprofundada. A caracterização bibliométrica desse *corpus* restrito revela sua natureza altamente emergente, com a distribuição temporal (2022-2025) confirmando o crescimento e a consolidação do tema no período pós-pandemia. Esse panorama recente mostra um protagonismo de pesquisadores de regiões geográficas específicas, com destaque para a Turquia, o Brasil e a Malásia, países onde o tema tem ganhado tração acadêmica significativa.

A organização temática dos achados permitiu a identificação de três *clusters* conceituais primários: o foco nas Tecnologias Imersivas em si, o interesse pela Pedagogia e Design das experiências de aprendizagem, e a área crítica da Formação e Aceitação Docente, diretamente relacionada ao modelo TPACK. O perfil metodológico dos quatro estudos nucleares apresenta ainda um equilíbrio notável entre investigações empíricas e revisões teóricas, fornecendo assim uma base robusta para as discussões subsequentes ao demonstrar que metade dos trabalhos (50%) são de natureza empírica e a outra metade (50%) é de natureza teórica ou revisional.

O primeiro eixo temático principal, que trata da Centralidade do TPACK na Prontidão Docente para o Metaverso, revela uma conclusão categórica na literatura: a simples aquisição de competência instrumental, ou seja, o mero saber operar o hardware ou o software da tecnologia imersiva, mostra-se insuficiente para garantir qualquer eficácia pedagógica sustentável no metaverso (Thohir et al., 2023). Há um consenso bem estabelecido

entre os autores de que a formação docente deve necessariamente transcender a dimensão técnica e concentrar-se na integração profunda do conhecimento tecnológico ao pedagógico e ao conteúdo (Jailani, Rosli e Mahmud, 2025).

Neste sentido, Jailani, Rosli e Mahmud (2025) reforçam a tese de que o sucesso de intervenções baseadas em *blended learning* e tecnologias emergentes na educação matemática não reside meramente na qualidade da ferramenta digital, mas sim na eficácia da mediação docente. Em outras palavras, a formação precisa ser estruturada para desenvolver uma prontidão pedagógico-tecnológica que capacite o professor a tomar decisões didáticas fundamentadas. Essa prontidão envolve o discernimento crítico sobre *quando, por que e como* mobilizar a imersão virtual em função de objetivos matemáticos específicos e bem delimitados, garantindo que a tecnologia sirva ao currículo e não o contrário.

Na mesma direção crítica, Reis *et al.* (2024) descrevem um dilema recorrente que permeia a formação docente contemporânea: os professores são instados e, por vezes, pressionados a atuar com tecnologias disruptivas e complexas, mas paradoxalmente são submetidos a formações que se baseiam em modelos expositivos e pouco experienciados, replicando a estrutura passiva da sala de aula tradicional. Este descompasso estrutural entre a natureza transformadora da tecnologia imersiva e o formato conservador da formação oferecida é, segundo os autores, o principal fator que explica a dificuldade generalizada na integração pedagógica efetiva observada nos estudos.

Portanto, a análise detalhada deste primeiro eixo temático confirma que a prontidão docente para o metaverso não é uma questão de aceitação ou domínio técnico, mas sim de articulação de saberes que se mostram fragilizados. A dificuldade na integração pedagógica é um sintoma claro do modelo formativo inadequado, que ignora a complexidade do TPACK e a necessidade de uma prática experiencial, estabelecendo-se como a principal barreira estrutural para a plena adoção das tecnologias imersivas no ensino de Matemática.

A Geometria e a Concretização de Conceitos Abstratos

A análise temática conduzida nesta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) valida a hipótese de que o metaverso encontra no ensino de Geometria e na visualização espacial o seu locus de maior potencial pedagógico. Esta conclusão decorre da necessidade de uma resposta estratégica à natureza abstrata de conceitos geométricos tridimensionais, que historicamente representam um dos maiores desafios de compreensão na Educação Matemática. Conforme apontado na literatura, a dificuldade na apresentação de conteúdos complexos e a falta de inovação contribuem para a baixa proficiência e o desinteresse dos discentes na área (Santos, 2024).

Neste cenário, a Geometria surge como um campo privilegiado para a concretização de conceitos que, em suportes bidimensionais como o papel ou o quadro, permanecem inacessíveis para muitos discentes. O uso de aplicações imersivas no metaverso para o ensino de geometria, por exemplo, permite que estudantes visualizem e manipulem objetos tridimensionais de maneiras que seriam impossíveis em meios bidimensionais, superando limitações de livros didáticos e quadros negros (Topraklıkoğlu e Öztürk, 2025). A manipulação de objetos em ambientes de Realidade Virtual (RV) permite, assim, uma transição cognitiva mais fluida entre a abstração matemática e a percepção sensorial, facilitando o desenvolvimento do raciocínio espacial, e reforçando a importância de direcionar as inovações tecnológicas para áreas curriculares onde a vantagem comparativa da imersão é pedagogicamente justificável (Vulgari, Panagopoulos e Garneli, 2025).

Entretanto, a eficácia dessa visualização espacial depende intrinsecamente da mobilização do Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (TPACK) por parte do docente (Thohir *et al.*, 2023). A literatura analisada sugere que a eficácia das intervenções tecnológicas reside na mediação docente (Jailani, Rosli e Mahmud, 2025), sendo crucial refletir sobre os desafios enfrentados pelos professores no uso dessas tecnologias imersivas, especialmente em como eles estão sendo treinados (Reis *et al.*, 2024). Sem essa articulação de saberes, o uso do metaverso corre o risco de tornar-se meramente ilustrativo, falhando em promover uma aprendizagem profunda e duradoura, uma vez que a formação frequentemente foca apenas no aspecto instrumental della tecnologia, negligenciando as dimensões pedagógicas e a gestão da atenção dos alunos em ambientes imersivos (Araújo, 2023).

Além disso, o foco na Geometria serve como um anteparo crítico ao "generalismo tecnológico" que frequentemente permeia as discussões sobre o metaverso na educação. Ao identificar nichos específicos de aplicação, esta tese combate a visão instrumentalista de que a tecnologia é uma solução universal e mágica para todos os dilemas do ensino. A superação dessa visão é fundamental, pois a simples transposição de métodos tradicionais para o ambiente virtual subutiliza o potencial da tecnologia (Lemes, Bueso Junior e Rodrigues, 2024). A especialização do uso do metaverso em tópicos de visualização espacial permite, portanto, uma gestão mais eficiente dos recursos escolares e uma formação docente mais focada em resultados pedagógicos tangíveis.

Em suma, a convergência entre a análise temática da RSL e as necessidades curriculares de Geometria estabelece um fundamento sólido para as discussões subsequentes desta tese. Ao demonstrar que o metaverso pode mitigar a abstração matemática através de experiências imersivas mediadas pelo saber docente, reitera-se

que a inovação educacional depende menos do deslumbramento tecnológico e mais de uma práxis fundamentada na relação entre tecnologia, pedagogia e o conteúdo matemático específico (Luz; Santos e Junger, 2020; Junger et al., 2023). O estudo conclui que a superação do deslumbramento tecnológico em prol de uma práxis pedagógica eficaz depende de programas de formação continuada que mitiguem a ansiedade tecnológica e fomentem a autoria docente em ambientes imersivos (Resumo).

Desafios Estruturais, Cognitivos e Atitudinais na Formação

A implementação do metaverso no ensino de matemática enfrenta barreiras que vão além da infraestrutura, adentrando aspectos cognitivos e crenças docentes (Saritaş; Topraklıkoğlu, 2022).

Reis *et al.* (2024) alertam para a "sobrecarga cognitiva" (*cognitive overload*) enfrentada pelos professores ao tentar gerenciar ambientes imersivos. A necessidade de mediar interações complexas entre avatares, gerenciar o comportamento dos alunos no espaço virtual e, simultaneamente, garantir o foco no conteúdo matemático cria uma demanda mental superior à da sala de aula tradicional (REIS *et al.*, 2024, p. 114). Isso indica que a formação docente deve incluir estratégias específicas de gestão de sala de aula virtual para mitigar esse estresse.

Embora a atitude geral em relação à tecnologia seja positiva, Eşin e Özdemir (2022) identificaram resistências qualitativas importantes. Alguns professores expressaram desconfiança em relação à natureza da aprendizagem no metaverso, associando-a a uma desconexão com o esforço real. Um dos relatos coletados destaca: "fazer as coisas através da mente, sem esforço físico, não me dá confiança" (EŞİN; ÖZDEMİR, 2022, p. 1052). Tais percepções sugerem que a formação não deve ser apenas técnica, mas também deve abordar as crenças dos professores sobre o que constitui "trabalho matemático" válido, desmistificando a ideia de que a simulação virtual é uma forma de "preguiça" intelectual.

Por fim, a questão da infraestrutura permanece um obstáculo transversal. Tanto Yılmaz e Simsek (2023) quanto Jailani, Rosli e Mahmud (2025) apontam que a falta de equipamentos adequados (óculos de RV, conexão de alta velocidade) nas escolas gera insegurança nos professores em formação. Eles temem dedicar tempo aprendendo uma tecnologia que talvez não esteja disponível em seus futuros locais de trabalho, o que reforça a necessidade de políticas públicas que alinhem a formação docente à infraestrutura escolar real.

Em síntese, o *corpus* nuclear indica que a formação de professores de matemática para contextos imersivos ainda se encontra em fase inicial. O potencial pedagógico é reconhecido, sobretudo no ensino de geometria, mas sua efetivação depende de modelos formativos mais consistentes, de melhores condições estruturais e de estratégias que enfrentem a sobrecarga cognitiva e as resistências atitudinais identificadas na literatura.

V. Considerações

A análise desenvolvida nesta Revisão Sistemática da Literatura (RSL) alcança seu objetivo de mapear o estado da arte entre 2020 e 2025, permitindo concluir que a intersecção entre o Metaverso, o ensino de Matemática e a formação docente configura-se como um campo de pesquisa marcadamente emergente e ainda fragmentado. Os resultados bibliométricos confirmam o crescimento exponencial das publicações no período pós-2021, impulsionado pela reconfiguração do ensino e pelo amadurecimento das tecnologias de Realidade Estendida (XR). Contudo, a principal constatação que fundamenta a continuidade desta tese é que a disponibilidade de tecnologias imersivas, por si só, não se traduz automaticamente em qualidade ou inovação pedagógica (Tlili et al., 2022).

O dilema da formação docente, conforme identificado na literatura, representa o obstáculo mais significativo para a integração eficaz do metaverso na Educação Matemática (Reis et al., 2024; Jailani, Rosli e Mahmud, 2025). Os estudos revisados convergem ao apontar que a formação oferecida aos professores frequentemente permanece ancorada em modelos instrucionais tradicionais, focando apenas no aspecto instrumental da tecnologia e negligenciando as dimensões pedagógicas cruciais. Jailani, Rosli e Mahmud (2025) e Reis et al. (2024) explicitam que a eficácia reside na articulação de saberes — o Conhecimento Tecnológico e Pedagógico do Conteúdo (TPACK), uma competência que se mostra carente em percursos formativos que replicam a estrutura passiva da sala de aula.

Pedagógicamente, a RSL validou que o potencial transformador do metaverso não é genérico, mas possui uma aderência notável em conteúdos curriculares específicos. O foco se concentra no ensino de Geometria e na visualização espacial, onde as tecnologias imersivas oferecem um contraponto direto à natureza abstrata dos conceitos matemáticos tridimensionais. Conforme demonstrado por Topraklıkoğlu e Öztürk (2025), a possibilidade de manipulação e visualização de objetos em ambientes virtuais é crucial para que o estudante desenvolva o raciocínio espacial, superando as limitações dos suportes bidimensionais e combatendo o "generalismo tecnológico" ao justificar a inovação em um locus curricular onde a vantagem comparativa é máxima.

Apesar do otimismo com o potencial, a pesquisa revelou um conjunto de desafios persistentes que precisam ser mitigados por políticas públicas de formação (Yilmaz; Coskun Simsek, 2023; Jailani, Rosli e Mahmud, 2025). Estruturalmente, a falta de infraestrutura tecnológica adequada e a insegurança dos docentes quanto à disponibilidade de equipamentos em seus locais de trabalho geram receio e limitam o investimento na aprendizagem dessas tecnologias. No plano cognitivo e atitudinal, a formação deve enfrentar a "sobrecarga cognitiva" (cognitive overload) enfrentada pelos professores na mediação de interações complexas em ambientes virtuais, bem como as resistências atitudinais identificadas por Eşin e Özdemir (2022), onde alguns educadores expressam ceticismo sobre a validade da aprendizagem por simulação, associando-a à ausência de "esforço físico real".

Em síntese, a principal contribuição desta Revisão Sistemática está em consolidar um diagnóstico rigoroso que evidencia que a lacuna na integração do metaverso não se localiza na ferramenta, mas sim na ausência de modelos de formação capazes de articular tecnologia, pedagogia e conteúdo de forma crítica e experiencial. O mapeamento realizado atende à fase diagnóstica e lança as bases para o avanço da pesquisa. Portanto, a continuidade desta tese, conforme o escopo de um doutorando, deve agora se deslocar do plano da constatação para o plano propositivo, investigando e desenhando modelos de formação que possam favorecer uma atuação docente autônoma, crítica e pedagogicamente orientada em ambientes imersivos, garantindo que o potencial do Metaverso se converta em ganho cognitivo real para a Educação Matemática.

Referências

- [1]. Akour, I. A.; Al-Marouf, R. S.; Alfaisal, R.; Salloum, S. A. A Conceptual Framework For Determining Metaverse Adoption In Higher Institutions Of The Gulf Area: An Empirical Study Using Hybrid Sem-Ann Approach. *Computers And Education: Artificial Intelligence*, V. 3, 100052, 2022. Disponível Em: [Http://Dx.Doi.Org/10.1016/J.Caeai.2022.100052](http://dx.doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100052).
- [2]. Araújo, Layane Nascimento De. A Atenção Dos Alunos No Metaverso: Um Estudo Sobre A Concepção De Ambientes De Aprendizagem No Metaverso, À Luz Do Design E Da Ergonomia. 2023. Tese (Doutorado Em Design) – Universidade Federal De Pernambuco, Recife, 2023.
- [3]. Chua, Hui Wen; Yu, Zhonggen. A Systematic Literature Review Of The Acceptability Of The Use Of Metaverse In Education Over 16 Years. *Journal Of Computers In Education*, 2023. Doi: 10.1007/S40692-023-00273-Z.
- [4]. Eşin, Şeyma; Özdemir, Emine. The Metaverse In Mathematics Education: The Opinions Of Secondary School Mathematics Teachers. *Journal Of Educational Technology And Online Learning*, V. 5, N. 4, P. 1041-1060, 2022. Doi: 10.31681/Jetol.1149802.
- [5]. Gencer, G.; Şensoy, N.; Gencer, K. *Journal Of Learning And Teaching In Digital Age*, V. 10, N. 2, P. 109-121, 2025.
- [6]. Han, X. Et Al. Using Virtual Reality For Teacher Education: A Systematic Review And Meta-Analysis Of Literature From 2014 To 2024. *Frontiers In Virtual Reality*, V. 6, 1620905, 2025.
- [7]. Jailani, Nursaadah; Rosli, Roslinda; Mahmud, Muhammad Sofwan. Blended Learning And Emerging Technologies In Mathematics Education: A Comprehensive Structured Review. *Journal Of Theoretical And Applied Information Technology*, V. 103, N. 16, P. 6249-6264, 2025.
- [8]. Junger, A. P. Et Al. Technological Tools In Teaching And Learning In Brazilian Educational Institutions. *Journal On Innovation And Sustainability*, São Paulo, V. 14, N. 2, P. 89-96, 2023.
- [9]. Kitchenham, B.; Charters, S. M. Guidelines For Performing Systematic Literature Reviews In Software Engineering. *Ebse Technical Report Ebse-2007-001*. Keele University And Durham University Joint Report, 2007.
- [10]. Lemes, David De Oliveira; Buesso Junior, José Carlos; Rodrigues, Julya Joplin Freitas. Metaverso E Educação: Um Novo Paradigma De Aprendizagem? *Recima21 - Revista Científica Multidisciplinar*, V. 5, N. 1, E514790, 2024.
- [11]. Luz, Jefferson Oliveira Cristovão Da; Dos Santos, Marcio Eugen Klingenschmid Lopes; Junger, Alex Paubel. Educação Financeira: Um Estudo De Caso Com Jovens Do Ensino Médio Na Cidade De São Paulo. *Revista De Ensino De Ciências E Matemática*, São Paulo, V. 11, N. 3, P. 199-211, 2020. Doi: 10.26843/Rencima.V11i3.2453.
- [12]. Maghaydah, Safwan Et Al. Factors Affecting Metaverse Adoption In Education: A Systematic Review, Adoption Framework, And Future Research Agenda. *Heliyon*, V. 10, N. 7, E28602, 2024.
- [13]. Page, Matthew J. Et Al. The Prisma 2020 Statement: An Updated Guideline For Reporting Systematic Reviews. *Bmj*, V. 372, N71, 2021. Doi: 10.1136/Bmj.N71.
- [14]. Reis, Ingrid Weingärtner; Peruchini, Melise; Ulbricht, Vania Ribas; Teixeira, Julio Monteiro. The Dilemma Of Teacher Training For The Use Of The Metaverse And Other Immersive Technologies In Teaching And Learning Processes: An Integrative Review. In: Tomczyk, Łukasz (Ed.). *Immersing In The Metaverse: Theoretical And Practical Reflections*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. P. 105-123. Doi: 10.1007/978-3-031-63235-8_7.
- [15]. Santos, Adriano Madureira Dos. Deep Learning In Education 5.0: Proposing 3d Geometric Shapes Classification Model To Improve Learning On A Metaverse Application. 2024. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal Do Pará, Belém, 2024.
- [16]. Saritaş, M. T.; Topraklıkoğlu, K. Systematic Literature Review On The Use Of Metaverse In Education. *International Journal Of Technology In Education (Ijte)*, V. 5, N. 4, P. 586-607, 2022. Disponível Em: [Https://Doi.Org/10.46328/Ijte.319](https://doi.org/10.46328/ijte.319).
- [17]. Silaiyappan, Selvakumar; Palaniyandi, Sivakumar. Immersive Learning Technology For Teacher Education: A Systematic Literature Review. *Journal Of Learning For Development*, V. 12, N. 1, P. 56-75, 2025.
- [18]. Thohir, M. Anas Et Al. The Effects Of Tpack And Facility Condition On Preservice Teachers' Acceptance Of Virtual Reality In Science Education Course. *Contemporary Educational Technology*, V. 15, N. 2, Ep407, 2023.
- [19]. Tlili, A. Et Al. Is Metaverse In Education A Blessing Or A Curse: A Combined Content And Bibliometric Analysis. *Smart Learning Environments*, V. 9, N. 1, P. 1-31, 2022. Disponível Em: [Https://Doi.Org/10.1186/S40561-022-00205-X](https://doi.org/10.1186/S40561-022-00205-X).
- [20]. Topraklıkoğlu, Kıvanç; Öztürk, Gülcan. Metaverse Application Development For Teaching Geometry In Virtual Reality Environment. *Journal Of Educational Technology And Online Learning*, V. 8, N. 1, P. 112-135, 2025. Doi: 10.31681/Jetol.1596173.
- [21]. Topraklıkoğlu, Kıvanç; Öztürk, Gülcan. The Metaverse And Mathematics Education: A Literature Review. In: *Shaping The Future Of Online Learning*. Hershey: Igi Global, 2022. P. 250-266.
- [22]. Voulgari, Nymfodora; Panagopoulos, Michail; Garneli, Varvara. A Systematic Review Of Augmented Reality In Mathematics Education: Fostering Learning Through Art Integration. *Arts & Communication*, V. 3, N. 2, 4446, 2025. Doi: 10.36922/Ac.4446.

- [23]. Yılmaz, Miraç; Coskun Simsek, Meltem. The Use Of Virtual Reality, Augmented Reality, And The Metaverse In Education: The Views Of Preservice Biology And Mathematics Teachers. Mier Journal Of Educational Studies Trends And Practices, V. 13, N. 1, P. 64-80, 2023. Doi: 10.52634/Mier/2023/V13/11/2422.