





MAPEAMENTO DA LITERATURA


# Requisitos de Software no Contexto de Metaversos Educacionais: Uma Abordagem Centrada em Requisitos Não Funcionais

## *Software Requirements in the Context of Educational Metaverses: A Non-Functional Requirements-Centered Approach*

Ricardo Normando Ferreira de Paula   [Universidade Estadual do Ceará | [ricardo.normando@aluno.uece.br](mailto:ricardo.normando@aluno.uece.br)]

Paulo Henrique Mendes Maia  [Universidade Estadual do Ceará | [pauloh.maia@uece.br](mailto:pauloh.maia@uece.br)]

Heitor Barros Chrisóstomo  [Universidade Estadual do Ceará | [heitor.chrisostomo@aluno.uece.br](mailto:heitor.chrisostomo@aluno.uece.br)]

 *Centro de Ciências da Computação, Universidade Estadual do Ceará, Av. Dr. Silas Munguba, 1700 - Itaperi, Fortaleza, Ceará, 60714-903, Brasil.*

**Resumo.** A customização de produtos e serviços tornou-se uma demanda crescente no século XXI, porém ainda é pouco explorada no contexto educacional. O metaverso surge como alternativa para viabilizar customização em massa no ensino e aprendizagem, exigindo, contudo, uma análise sistematizada dos requisitos de software, especialmente os não funcionais. Este trabalho apresenta os resultados de um mapeamento sistemático da literatura com o objetivo de identificar e analisar requisitos aplicados ao desenvolvimento de metaversos educacionais. As buscas foram realizadas nas bases ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus e Engineering Village, resultando em 1.013 estudos identificados, dos quais 22 artigos publicados entre 2019 e 2024 foram selecionados após aplicação dos critérios de inclusão e exclusão. A análise foi organizada em quatro dimensões — Pedagógica, Técnica, Social e Ético-Legal — definidas a partir de documentos norteadores e da experiência dos pesquisadores. Os resultados evidenciam que os requisitos não funcionais são fundamentais para a qualidade de software em ambientes educacionais imersivos, embora ainda sejam pouco sistematizados nesse contexto. Também foram identificadas lacunas nas dimensões social e ético-legal, especialmente relacionadas à interatividade e segurança. Observou-se, ainda, a baixa participação de professores e alunos na estruturação desses ambientes e a limitação de muitas soluções à mera virtualização de processos existentes, subutilizando o potencial de interação e customização do metaverso. As dimensões propostas contribuíram para uma análise criteriosa dos requisitos, indicando oportunidades para o avanço da Engenharia de Requisitos em soluções educacionais imersivas e para o desenvolvimento futuro de uma taxonomia voltada a metaversos educacionais.

**Abstract.** The customization of products and services has become an increasing demand in the 21st century; however, it remains underexplored in the educational context. The metaverse emerges as an alternative to enable mass customization in teaching and learning processes, although it requires a systematic analysis of software requirements, particularly non-functional requirements. This study presents the results of a systematic mapping of the literature aimed at identifying and analyzing requirements applied to the development of educational metaverses. Searches were conducted in the ACM Digital Library, IEEE Xplore, Scopus, and Engineering Village databases, resulting in 1,013 identified studies, of which 22 articles published between 2019 and 2024 were selected after the application of inclusion and exclusion criteria. The analysis was structured into four dimensions — Pedagogical, Technical, Social, and Ethical-Legal — defined based on guiding documents and the researchers' practical experience. The results demonstrate that non-functional requirements play a fundamental role in software quality within immersive educational environments, although they are still insufficiently systematized in this context. Significant gaps were also identified in the social and ethical-legal dimensions, particularly regarding interactivity and security. Furthermore, the findings revealed the limited participation of teachers and students in the structuring of these environments, as well as the tendency of many solutions to merely virtualize existing processes, thereby underutilizing the interaction and customization potential of metaverse technologies. The proposed dimensions contributed to a systematic analysis of requirements, highlighting opportunities for advancing Requirements Engineering in immersive educational solutions and supporting the future development of a taxonomy for educational metaverses.

**Palavras-chave:** Metaverso educacional, Requisitos de software, Educação, Engenharia de Software

**Keywords:** Educational Metaverse, Software Requirements, Education, Software Engineering

**Recebido/Received:** 25 September 2025 • **Aceito/Accepted:** 09 January 2026 • **Publicado/Published:** 23 June 2026

## 1 Introdução

O metaverso, uma tecnologia imersiva emergente nos últimos anos, tem impulsionado o surgimento de ambientes educacionais virtuais como uma nova fronteira no campo da educação digital [Stanoevska-Slabeva, 2022]. Esses ambientes tridimensionais e interativos têm o potencial de oferecer ex-

periências de aprendizagem que transcendam os limites da sala de aula tradicional, promovendo maior engajamento, colaboração em tempo real e simulações realistas de cenários de ensino. Apoiados por recursos de realidade virtual, realidade aumentada e avatares personalizados, dentre outras possibilidades, o metaverso educacional vem se consolidando como uma das apostas mais promissoras para a transformação pe-

dagógica no século XXI, principalmente no que diz respeito à customização do processo de ensino e aprendizagem, característica marcante da era moderna [Arantes, 2024].

Considerando as características específicas do processo educacional, a adoção de metaversos educacionais impõe desafios significativos do ponto de vista da engenharia de *software*, fundamentalmente no que se refere à qualidade desses ambientes imersivos. Diferentemente das plataformas educacionais convencionais, os metaversos operam sob requisitos técnicos mais complexos, exigindo alto desempenho gráfico, comunicação síncrona entre usuários, interoperabilidade entre dispositivos e interfaces altamente intuitivas [Gim et al., 2022]. A negligência desses aspectos pode comprometer a experiência do usuário, reduzir a efetividade pedagógica e ampliar as barreiras de acesso para diferentes perfis de alunos.

Nesse contexto, os requisitos não funcionais (RNFs) desempenham um papel central para assegurar a qualidade do *software* em metaversos educacionais. Atributos como, por exemplo, usabilidade, acessibilidade, desempenho, segurança, portabilidade e privacidade podem determinar a eficiência técnica da aplicação, além de impactar diretamente a inclusão digital e a eficácia do processo de ensino e aprendizagem [Pentangelo et al., 2024]. Ignorar esses requisitos significa comprometer a escalabilidade e sustentabilidade dessas plataformas no ecossistema educacional. Em outras palavras, considerando sistemas complexos como a Educação, os requisitos não funcionais tornam-se mais significativos do que os requisitos funcionais (RFs). O mesmo ocorre em outros sistemas complexos, como, por exemplo, a área de saúde, a qual, comparada à área educacional, está à frente quando o assunto é a aplicação do metaverso em suas atividades [Odeh, 2024]. No entanto, a classificação dos RNFs para um metaverso educacional ainda não foi identificada a contento. No cenário virtual educacional no metaverso, a necessidade de uma classificação abrangente e bem definida dos requisitos não funcionais que especifique os requisitos de qualidade desejados e as restrições associadas torna-se primordial.

Para investigar como a literatura científica tem tratado essa problemática, o objetivo geral da presente pesquisa é identificar, classificar e discutir de forma crítica os requisitos de *software*, com ênfase nos requisitos não funcionais, empregados no desenvolvimento de metaversos educacionais, analisando como esses requisitos contribuem para a qualidade dos ambientes virtuais de aprendizagem e quais lacunas permanecem na literatura quanto às dimensões pedagógica, técnica, social e ético-legal.

O mapeamento sistemático da literatura apresentado, estruturado sob a sistemática abordada em Kitchenham and Charters [2007], é focado na intersecção entre RNFs e metaversos voltados à educação. O estudo analisou 22 artigos publicados entre 2019 e 2024, revelando que os RNFs relacionados à infraestrutura da plataforma foram mais discutidos, em detrimento de requisitos sociais e ético-legais que necessitam de uma discussão mais ampla.

Com o propósito de contextualizar o tema investigado e apresentar de forma sistematizada os resultados obtidos, este artigo está organizado da seguinte maneira: a Seção 2 apresenta os trabalhos relacionados, situando o estudo no estado da arte da área; a Seção 3 descreve a metodologia adotada e

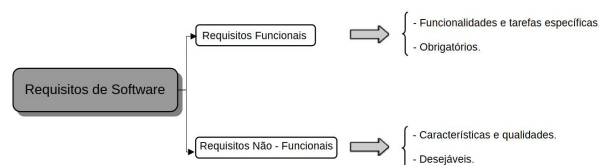


Figura 1. Diferença entre Requisitos Funcionais e Não-Funcionais.  
Fonte: Autor (2025).

detalha as questões de pesquisa formuladas; na Seção 4, são expostos os resultados da análise conduzida a partir dos estudos primários; a Seção 5 dedica-se à discussão crítica desses resultados, estabelecendo relações com a literatura existente; a Seção 6 aborda as potenciais ameaças à validade do estudo e suas implicações metodológicas; por fim, a Seção 7 reúne as considerações finais, destacando contribuições, limitações e perspectivas de continuidade da pesquisa.

## 2 Trabalhos relacionados

O metaverso, tecnologia emergente popularizada no livro *Snow Crash* [Stephenson, 1994], vem crescendo e se tornando uma inovação eficaz para as mais variadas demandas, sejam elas industriais, comerciais, educacionais, etc. Em termos de números, espera-se que a indústria do mercado de metaverso dos Estados Unidos cresça de 32,18 em 2023 para 400,0<sup>1</sup> até 2032 [Market Research Future, 2025].

Na medida em que a demanda por soluções baseadas em metaverso se amplia, os usuários finais apresentam expectativas cada vez mais específicas e elevadas, o que impõe requisitos adicionais de análise, validação e garantia de qualidade [Longo and Tavares, 2022]. Esses requisitos adicionais, considerando as necessidades dos usuários, podem ser entendidos como, prioritariamente, RNFs, compreendidos dessa forma a partir dos conceitos abordados na Figura 1. Dessa forma, a qualidade de *software* passa a constituir um diferencial estratégico para as empresas de desenvolvimento, sendo determinante para a aceitação, satisfação e retenção dos usuários frente à crescente oferta de produtos similares no mercado [Bhattacharya et al., 2023].

Sob a ótica do segmento educacional, os metaversos voltados para este campo exigem um conjunto de requisitos, especialmente RNFs, que estejam alinhados às necessidades específicas deste domínio e aproveitem todo o potencial desta ferramenta, que pode proporcionar um processo de ensino e aprendizagem eficaz.

Confrontando o anteriormente exposto acerca das expectativas dos usuários com as análises realizadas nos estudos de Uddin et al. [2023], Kye et al. [2021] e Serafim and de Bem [2022], é possível inferir que a utilização do Metaverso para fins educacionais enfrenta os desafios destacados na Figura 2, o que se configura como RNFs que refletem o aumento das expectativas dos usuários, considerando a complexidade do processo educacional e o conjunto de possibilidades oferecidas pelo metaverso.

Diversos estudos têm explorado o potencial dos metaversos educacionais como ferramentas para promover ambientes de aprendizagem que proporcionem um maior nível de engajamento e que se mostrem mais imersivos e colaborati-

<sup>1</sup>Valores em bilhões de dólares.



Figura 2. Desafios enfrentados na estruturação e metaversos educacionais  
Fonte: Autor (2025).

vos. No entanto, a maioria das pesquisas concentra-se em aspectos pedagógicos e interacionais, com pouca ênfase nos aspectos técnicos de qualidade de *software*, especialmente nos RNFs que garantem o bom funcionamento, segurança e acessibilidade dessas plataformas.

Em uma análise conduzida por DeVeaux and Bailenson [2022], os autores investigaram o uso da plataforma ENGAGE para aulas de ciências em realidade virtual. Embora o estudo destaque ganhos de engajamento e ganhos de resultados pedagógicos, ele não aborda critérios técnicos, como desempenho, usabilidade ou acessibilidade da aplicação, nem critérios de interatividade, uma das estruturas basilares do metaverso e do processo educacional.

Em outro panorama, o estudo de Umar *et al.* [2025] aborda uma plataforma de museu virtual (*Metaverse Museum Muhammadiyah*) projetada para oferecer uma experiência imersiva e interativa ao usuário com fins educacionais. Analisando a etapa de especificação de requisitos de *software* e a estruturação de um diagrama de caso de uso para este ambiente, os autores destacam a especificação de Requisitos Funcionais e Não-Funcionais, ressaltando lacunas em algumas funcionalidades que, de forma implícita, referem-se a RNFs e concluem com a confirmação acerca da necessidade de melhoria contínua na etapa de especificação dos requisitos, com o intuito de garantir que este ambiente possibilite uma cobertura abrangente das necessidades dos usuários, ao mesmo tempo em que atende aos altos padrões esperados em um ambiente de metaverso.

Considerando sistemas de *e-learning* abordados no estudo de Aedah [2020], são apontados os principais critérios de avaliação de qualidade com base nesta norma para este tipo de sistema. Tratando da integração da qualidade em pro-

duetos de *software*, o estudo destaca critérios relativos à completude funcional, eficiência de desempenho, compatibilidade, segurança, manutenibilidade, portabilidade e confiabilidade. Apesar desta análise detalhada, ao observar o estudo, percebe-se a ausência de requisitos voltados para questões pedagógicas subjacentes a este tipo de sistema, bem como uma análise de questões voltadas à inclusão e acessibilidade [Consortium, 2023].

Considerando estudos secundários, revisão de literatura [Fernandes and Werner, 2022a] e [Sirvermez and Baltaci, 2023], revisão de escopo [Fernandes and Werner, 2022b] e estudos empíricos [Yilmaz *et al.*, 2023], tratam acerca de requisitos de *software*, principalmente dos RFs. No entanto, ao se tratar de RNFs, não há uma análise mais detalhada ou específica deste grupo de requisitos, sendo, em muitos casos, mencionados, mas não tratados de forma mais profunda, o que se faz necessário tanto pelas nuances do metaverso quanto pelo processo de ensino e aprendizagem, bem como pelas normatizações anteriormente citadas.

Sob o aspecto mais relacionado a questões pedagógicas, tais como engajamento, personalização da aprendizagem e suporte a diferentes estilos cognitivos, fundamentais para a efetividade de ambientes imersivos, estudos como Zhao *et al.* [2022] e Damaševičius and Sidekerskienė [2024] permitem concluir que esses aspectos têm seus requisitos estruturados, geralmente de maneira implícita ou fragmentada, com pouca sistematização e sem clara distinção entre requisitos funcionais e não funcionais.

Dessa forma, este trabalho se diferencia ao reunir a abordagem relacionada a RNFs com a análise crítica dos metaversos educacionais, propondo critérios e diretrizes para orientar o desenvolvimento de plataformas de ensino mais rob-

tas, inclusivas e sustentáveis.

### 3 Metodologia

Para desenvolver uma análise de requisitos não funcionais orientados ao desenvolvimento de *softwares* educacionais no metaverso, foi realizado um mapeamento sistemático da literatura, tomando por base as diretrizes estabelecidas por Kitchenham and Charters [2007]. A seguir, detalham-se as etapas do planejamento, condução e relato deste mapeamento sistemático, evidenciando os critérios adotados para assegurar a validade e a confiabilidade das conclusões apresentadas.

O objetivo deste estudo é determinar como os RNFs têm sido abordados e analisados no desenvolvimento de metaversos educacionais. Isso leva às seguintes questões de pesquisa (QPs):

- **QP1:** Quais requisitos de *software* têm sido identificados na literatura para o desenvolvimento de metaversos educacionais e como eles podem ser classificados quanto à sua natureza e finalidade?
- **QP2:** Que *stakeholders* estão envolvidos na construção de metaversos educacionais e de que forma sua participação (ou ausência) influencia a elicitação e a priorização de requisitos não funcionais?
- **QP3:** Como as tecnologias mais utilizadas em metaversos educacionais são aplicadas na Educação, em quais contextos específicos (por exemplo, salas de aula virtuais, simulações, jogos, laboratórios virtuais) são implementadas e que implicações essas escolhas trazem para os requisitos não funcionais?
- **QP4:** Quais teorias da aprendizagem têm sido consideradas na construção de metaversos educacionais e como se refletem nos requisitos não funcionais especificados (ou negligenciados) nos estudos?

Essas informações, aliadas às práticas recomendadas na literatura atual, são utilizadas para sugerir e elaborar uma diretriz revisada orientada à sistematização de requisitos não funcionais em metaversos educacionais. Em seguida, é descrito o protocolo de pesquisa, inicialmente elaborado por dois pesquisadores e, posteriormente, revisado por um terceiro. A questão de pesquisa foi elaborada utilizando a estratégia PICO (*Population, Intervention, Comparison, Outcomes*) [Kitchenham and Charters, 2007], onde:

- População (P): Metaverso educacional (*Educational Metaverse*);
- Intervenção (I): Engenharia de Requisitos (*software requirement*);
- Comparação (C): Não se aplica;
- Outcomes (O): Softwares educacionais orientados para o metaverso (*Metaverse-oriented educational software*).

A questão de pesquisa foi formulada da seguinte maneira: Quais requisitos não funcionais têm sido considerados no desenvolvimento de metaversos educacionais e como esses requisitos contribuem para a qualidade dos ambientes virtuais de aprendizagem? Para o alcance da resposta, houve a decomposição nas QPs: QP1 mapeia e categoriza os RNFs

reportados; QP2 relaciona a participação de stakeholders à definição desses requisitos; QP3 explora como diferentes tecnologias e contextos educacionais impõem ou evidenciam determinados RNFs; e QP4 conecta as teorias pedagógicas adotadas à explicitação (ou não) de RNFs alinhados às necessidades educacionais.

Na formulação da consulta, a disjunção de sinônimos foi realizada por meio da utilização de operadores OR, enquanto a conjunção do domínio de interesse foi estabelecida com o uso de operadores AND. Essa estratégia torna a consulta aplicável de maneira eficiente em diferentes bases de dados online.

As palavras-chave identificadas são *educational Metaverse*, *software requirement* e *metaverse*, que foram agrupadas em conjuntos e cujos sinônimos foram considerados para a formulação das *strings* de busca.

As buscas foram realizadas nas bases de dados do IEEE Xplore, ACM, Scopus e Inspec/Compendex (*Engineering Village*). As *strings* de pesquisa usadas para cada banco de dados podem ser encontradas na Tabela 1 e foram utilizadas em todos os campos. O Mendeley, uma ferramenta de gerenciamento de referências, foi usado para remover duplicatas e gerenciar o grande número de referências. A Tabela 2 mostra o número de resultados da pesquisa por banco de dados. Acerca da escolha das bases de dados, sua seleção seguiu critérios de abrangência, relevância científica e representatividade da área de Engenharia de Software e Tecnologias Educacionais. Os critérios foram os seguintes:

- ACM Digital Library: reúne publicações de alto impacto na área de Ciências da Computação, com destaque para Engenharia de *Software*, Interação Humano-Computador e Tecnologias Educacionais, constituindo-se como uma fonte relevante para estudos que envolvem inovação tecnológica, fundamentalmente aquelas aplicadas à educação;
- IEEE Xplore: concentra artigos e conferências de abrangência mundial na área de Ciências da Computação, especialmente no que tange a requisitos de *software* e aplicações educacionais, constituindo uma fonte essencial para pesquisas sobre ambientes imersivos;
- Scopus: por se apresentar uma abrangência multidisciplinar e cobertura ampliada de periódicos indexados, possibilita alcançar estudos que, mesmo fora do escopo estrito da Engenharia de *Software*, dialogam com o tema de metaversos educacionais, contemplando aspectos pedagógicos, sociais e legais;
- Engineering Village (Compendex e Inspec): por agrupar literatura técnica e científica na área de Ciências da Computação, incluindo publicações que abordam desde a infraestrutura tecnológica até questões de qualidade de *software*, permite o complemento da busca com uma perspectiva mais aplicada.

Essa combinação garante tanto profundidade técnica (via ACM e IEEE) quanto amplitude interdisciplinar (via Scopus e Engineering Village), assegurando que o mapeamento contemplasse um conjunto representativo e confiável de publicações pertinentes ao objeto de estudo.

Inicialmente, foram testadas combinações mais gerais entre os termos “*metaverse*” e “*requirement*” sem a anco-

**Tabela 1.** Strings de buscas nas bases de dados

Bases de dados	Strings de busca
Scopus	( TITLE-ABS-KEY ( edu* OR learn* OR train* OR tutor* OR "active learn*"OR "hybrid learn*"OR "e-learn*") AND TITLE-ABS-KEY ( "software engineering"OR "software requirement") AND TITLE-ABS-KEY ( metaverse OR "virtual reality"OR "augmented reality"OR "extended reality"OR "virtual world"OR "virtual environment"OR "3d virtual world"OR "3d virtual environment") ) AND PUBYEAR > 2018 AND PUBYEAR < 2025 AND ( LIMIT-TO ( SUBJAREA , "COMP") ) AND ( LIMIT-TO ( DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO ( DOCTYPE , "ar") )
IEEE Xplore	("All Metadata":edu* OR "All Metadata":learn* OR "All Metadata":train* OR "All Metadata":tutor* OR "All Metadata":"active learn*"OR "All Metadata":"hybrid learn*"OR "All Metadata":"e-learn*") AND ("All Metadata":"software engineering"OR "All Metadata":"software requirement") AND ("All Metadata":metaverse OR "All Metadata":"virtual reality"OR "All Metadata":"augmented reality"OR "All Metadata":"extended reality"OR "All Metadata":"virtual world"OR "All Metadata":"virtual environment"OR "All Metadata":"3d virtual world"OR "All Metadata":"3d virtual environment") Filters Applied: Conferences Journals Early Access Articles 2019 - 2024
Engineering Village	(((((edu* OR learn* OR train* OR tutor* OR "active learn*"OR "hybrid learn*"OR "e-learn*") WN KY) AND ((("software engineering"OR "software requirement") WN KY)) AND ((metaverse OR "virtual reality"OR "augmented reality"OR "extended reality"OR "virtual world"OR "virtual environment"OR "3d virtual world"OR "3d virtual environment") WN KY)) AND ((all WN ACT))) AND ((ca OR ja) WN DT) AND (english WN LA) AND ((2024 OR 2023 OR 2022 OR 2021 OR 2020 OR 2019) WN YR)))
ACM	[[All: edu*] OR [All: learn*] OR [All: train*] OR [All: tutor*] OR [All: "active learn*"] OR [All: "hybrid learn*"] OR [All: "e-learn*"]] AND [[All: "software engineering"] OR [All: "software requirement"]] AND [[All: metaverse] OR [All: "virtual reality"] OR [All: "augmented reality"] OR [All: "extended reality"] OR [All: "virtual world"] OR [All: "virtual environment"] OR [All: "3d virtual world"] OR [All: "3d virtual environment"]] AND [[All: edu*] OR [All: learn*] OR [All: train*] OR [All: tutor*] OR [All: "active learn*"] OR [All: "hybrid learn*"] OR [All: "e-learn*"]] AND [E-Publication Date: (01/01/2019 TO 12/31/2024)]

**Tabela 2.** Número de estudos por base de dados

Base de dados	Resultados da pesquisa
ACM	486
Engineering Village	28
IEEE	361
SCOPUS	138
<b>TOTAL</b>	<b>1013</b>

ragem em “*software engineering / software requirement*”, o que gerou um volume expressivo de estudos irrelevantes, sobretudo textos de cunho conceitual ou de opinião sem relação direta com os objetivos estruturantes desta pesquisa. A inclusão explícita de termos relacionados à Engenharia de Requisitos visou aumentar a precisão sem reduzir excessivamente a sensibilidade da busca, embora isso resultasse na necessidade de descartar um número elevado de estudos já na triagem por título, o que é considerado aceitável diante do objetivo de abranger diferentes abordagens de requisitos em metaversos educacionais.

Com base nas questões de pesquisa, bem como no foco desta, foi definida uma lista de critérios de inclusão. Os artigos devem ser incluídos quando atenderem a todos os seguintes critérios:

- ser um estudo primário;
- publicado no interstício compreendido entre 01 de janeiro de 2019 – 30 de dezembro de 2024;
- acessível para download;
- responde a pelo menos uma questão de pesquisa;
- publicado em periódico ou conferência relacionados às Ciências da Computação ou Educação e
- texto completo escrito em inglês.

Já quanto aos critérios de exclusão, foram aplicados, quando necessário, os seguintes:

- artigos que não expressavam relação (seja direta ou indireta) entre requisitos de software e softwares educacionais orientados ao metaverso;
- estudos que apresentam resumos de conferências ou editoriais;
- estudos não acessíveis em texto completo;
- aplicações restritas ao meio industrial;
- aplicações voltadas especificamente à educação inclusiva e/ou a crianças e jovens com necessidades educacionais especiais;
- livros, capítulos e literatura cinzenta; e
- estudos que são duplicatas de outros estudos.

A exclusão de aplicações voltadas à educação inclusiva e a estudantes com necessidades educacionais especiais foi adotada como uma delimitação de escopo, uma vez que esses contextos demandam requisitos não funcionais e diretrizes normativas próprias. Embora tais estudos sejam altamente relevantes, sua inclusão poderia distorcer o foco deste mapeamento, voltado a analisar o processo educacional em um espectro mais amplo; esse recorte é compreendido como uma agenda específica para pesquisas futuras.

O procedimento de seleção dos artigos foi dividido em 4 etapas. Na Etapa 1, 1.013 registros foram identificados em quatro bancos de dados (Tabela 2) por meio de strings de

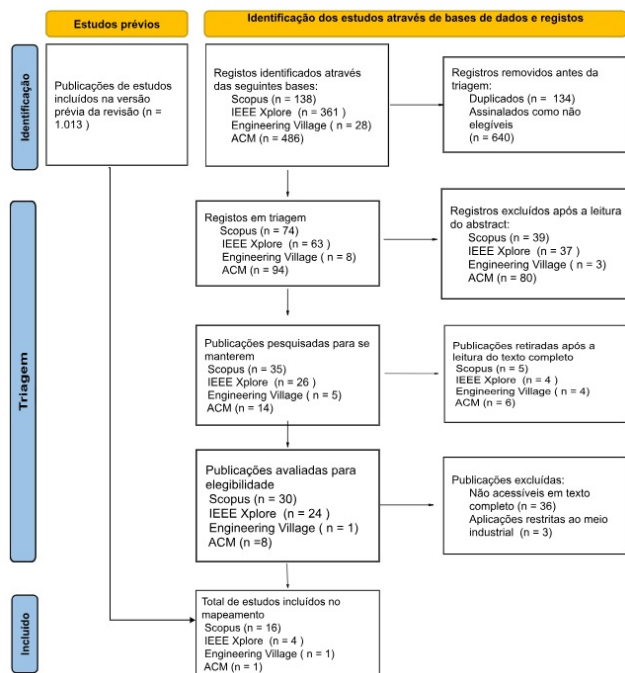


Figura 3. Etapas do mapeamento  
Fonte: Autor (2025).

pesquisa (Tabela 1). Posteriormente, 774 registros duplicados ou que não eram elegíveis de acordo com o título foram removidos na Etapa 2. Portanto, 239 registros foram rastreados para iniciar o processo de triagem. Na Etapa 3, ao aplicar os critérios de seleção no resumo, 158 registros foram excluídos, resultando em 81 trabalhos para elegibilidade. Finalmente, na Etapa 4, ao ler o texto completo de cada artigo e aplicar os demais critérios de exclusão, 59 registros foram excluídos. Como resultado, 22 estudos foram incluídos nesta revisão. Uma visão geral do processo de filtragem é mostrada na Figura 3. Os estudos que foram selecionados a partir do mapeamento estão disponíveis na Tabela 3.

### 3.1 Procedimento de análise dos dados

Após a seleção dos 22 estudos, foi conduzida uma etapa de extração estruturada, na qual, para cada artigo, foram identificados: (i) os tipos de requisitos descritos (funcionais e não funcionais); (ii) os stakeholders envolvidos; (iii) as tecnologias e contextos educacionais adotados; (iv) as teorias de aprendizagem explicitadas ou subjacentes.

Os requisitos não funcionais extraídos foram mapeados para quatro dimensões – pedagógica, técnica, social e ético-legal – com base em documentos normativos e legislações previamente selecionados, além da experiência docente dos autores. Em seguida, para a QP1, realizou-se a contagem de ocorrências por categoria de RNFs e a análise de sua distribuição entre as dimensões; para a QP2, os stakeholders foram codificados por tipo (pesquisadores, equipes multidisciplinares, professores, alunos, entre outros); para a QP3, as tecnologias e os contextos foram associados aos RNFs que impactam ou são demandados por cada configuração; e, para a QP4, as teorias de aprendizagem identificadas foram relacionadas às dimensões de RNFs que elas tendem a enfatizar ou negligenciar.

## 4 Análise dos resultados obtidos

A presente seção ocupa-se em apresentar os resultados obtidos no mapeamento, destacando os aspectos relacionados aos requisitos de *software* e dando ênfase aos requisitos não funcionais.

### 4.1 QP1: Quais requisitos de software têm sido identificados na literatura para o desenvolvimento de metaversos educacionais e como, em particular, os requisitos não funcionais podem ser classificados quanto à sua natureza, finalidade e frequência nas diferentes dimensões pedagógica, técnica, social e ético-legal?

Para responder a esta questão, foram estipuladas inicialmente quatro dimensões de requisitos de software, mostradas na Figura 4. Essas dimensões foram elaboradas a partir dos documentos, normativas e legislações elencados a seguir, aliados às experiências dos autores como professores (média de 15 anos de experiência).

A adoção de normativas, legislações e diretrizes oficiais, aliada à experiência docente dos autores, desempenha papel fundamental na definição das quatro dimensões de re-

Tabela 3. Estudos incluídos no mapeamento

Estudos	Ano
Sharma <i>et al.</i> [2019], Horst and Dörner [2019], Fernandes and Werner [2019], Ivanova <i>et al.</i> [2019]	2019
Ortiz <i>et al.</i> [2020], Sanagavarapu <i>et al.</i> [2020], Tong <i>et al.</i> [2020], Villanueva <i>et al.</i> [2020]	2020
Mayor and López-Fernández [2021], Rodríguez <i>et al.</i> [2021]	2021
Manero <i>et al.</i> [2022], Ruwodo <i>et al.</i> [2022], Fernandes <i>et al.</i> [2022], López-Fernández <i>et al.</i> [2022]	2022
Keselj <i>et al.</i> [2023], Lee <i>et al.</i> [2023], Permana and Nugroho [2023], Vargas <i>et al.</i> [2023], Prasetya <i>et al.</i> [2023]	2023
AlQallaf <i>et al.</i> [2024], Gordillo <i>et al.</i> [2024], Pentangelo <i>et al.</i> [2024]	2024

Requisitos de Primeiro Nível			
Requisitos Pedagógicos	Requisitos Técnicos	Requisitos Sociais	Requisitos Éticos e Legais
Requisitos de Segundo Nível			
P <sub>1</sub> → Personalização do ensino P <sub>2</sub> → Objetivos Educacionais P <sub>3</sub> → Métodos de Avaliação P <sub>4</sub> → Metodologias Ativas P <sub>5</sub> → Inclusão e Acessibilidade P <sub>6</sub> → Design Universal P <sub>7</sub> → Imersão P <sub>8</sub> → Utilização de Assistente Virtual	T <sub>1</sub> → Plataforma e Infraestrutura T <sub>2</sub> → Interface e Interatividade T <sub>3</sub> → Segurança e Privacidade T <sub>4</sub> → Interoperabilidade	S <sub>1</sub> → Interações Sociais S <sub>2</sub> → Inclusão Social	LE1 → Conformidade com a Legislação LE2 → Ética e Responsabilidade

Figura 4. Detalhamento de cada categoria de requisitos  
 Fonte: Autor (2025).

quisitos de software propostas. No contexto educacional, considerando tanto ambientes físicos quanto virtuais, esses referenciais constituem bases estruturantes para garantir que tecnologias emergentes — como, por exemplo, os metaversos — além de cumprir a sua função pedagógica, também atendam às exigências legais, éticas e operacionais que regem o sistema educacional brasileiro ou internacional (no caso de ambientes virtuais de alcance global). Normas e leis, como aquelas relacionadas à proteção de dados, acessibilidade, diretrizes curriculares e políticas de inclusão, orientam práticas que asseguram equidade, segurança e conformidade institucional, atributos essenciais em qualquer ambiente de ensino. Os documentos utilizados para a estruturação de cada categoria foram os seguintes:

**Requisitos Pedagógicos:** este grupo de requisitos foi embasado em da Educação [2010], Brasil [2015] e da Educação [2018], além de verificar as orientações contidas em Consortium [2023];

**Requisitos Técnicos:** além da literatura consolidada sobre o assunto, como, por exemplo, Sommerville [2018], os estudos Park and Kim [2022], Zhang *et al.* [2025] e Wang *et al.* [2023] foram consultados, ajudando, desta forma, na estruturação deste grupo de requisitos;

**Requisitos Sociais:** neste grupo, seguem os requisitos estruturados a partir das das normas da UNESCO (*United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura) UNESCO [2022] e Troquard *et al.* [2023], no qual é proposta a abordagem SLEEC (*social, legal, ethical, empathetic, or cultural*), um conjunto de regras que visa facilitar a formulação, verificação e aplicação das regras que os sistemas autônomos e baseados em IA devem obedecer.

**Requisitos éticos e legais:** Neste grupo, foram consultados BRASIL [2018], Union [2016], Brasil [1998] e Congress [1998].

Complementarmente, a experiência acumulada dos docentes oferece uma perspectiva prática indispensável, pois permite identificar desafios reais que afetam diretamente o processo de ensino-aprendizagem, tais como: diversidade de perfis estudantis, limitações estruturais, barreiras socioculturais, demandas pedagógicas contemporâneas, etc. Esses elementos tornam-se ainda mais críticos quando transpostos para ambientes virtuais imersivos, uma vez que, embora o metaverso amplie possibilidades interativas e tecnológicas, ele também reproduz — e por vezes intensifica — desigual-

dades e necessidades observadas no ambiente físico. Assim, integrar a vivência docente ao processo de construção das dimensões permite que os requisitos reflitam tanto requisitos teóricos e normativos quanto as necessidades concretas da prática pedagógica.

Essa abordagem híbrida assegura que os requisitos propostos não se restrinjam a abstrações tecnológicas, mas se alinhem às demandas reais da educação, favorecendo o desenvolvimento de metaversos educacionais mais inclusivos, funcionais e aderentes à realidade escolar.

Após serem estruturadas as quatro dimensões, os requisitos foram extraídos das pesquisas e agrupados nas devidas categorias.

Ainda a partir dos documentos citados em cada grupo de requisitos, foi definido, para cada dimensão, um conjunto de RNFs que pode ser levado em conta no desenvolvimento de metaversos educacionais. É a partir deste segundo nível que os artigos são analisados. Estas análises levaram à construção da Figura 5, que destaca os requisitos encontrados em cada pesquisa, cujos resultados são descritos a seguir.

No estudo de Pentangelo *et al.* [2024], há a catalogação de uma lista de requisitos seguindo uma abordagem focada na engenharia. Assim, foca-se, fundamentalmente, em RFs. Neste estudo, a priori, realizou-se uma pesquisa bibliográfica seguida de entrevistas semiestruturadas para validar ainda mais sua lista de requisitos. Em um segundo momento, implementaram esses requisitos em uma plataforma de metaverso de código aberto chamada SENEM - *Software Engineering-eNabled Educational Metaverse*, adaptada para atividades educacionais e colaborativas remotas. Por fim, validaram empiricamente o SENEM para avaliar sua capacidade de aprendizado, eficiência e satisfação do usuário. Seguindo a mesma forma de elicitação, pesquisadores Horst and Dörner [2019] explicitam que todos os requisitos surgiram das entrevistas com especialistas. O mesmo processo é seguido em Manero *et al.* [2022], estudo no qual os pesquisadores informam que os requisitos foram elicitados a partir de entrevistas com 62 professores. Este método está entre os tipos mais populares de elicitação de requisitos, e por um motivo: ele dá ao analista a oportunidade de discutir em profundidade os pensamentos de uma parte interessada e obter sua perspectiva sobre a necessidade do negócio e a viabilidade de soluções potenciais [Rueda *et al.*, 2020], o que, para o processo educacional, é de suma importância dada a complexidade deste processo.

Em AlQallaf *et al.* [2024] experimenta-se um *Hackathon* onde alunos, divididos em grupos e utilizando tec-

REQUISITOS DE SEGUNDO NÍVEL

Artigos	PEDAGÓGICOS								TÉCNICOS				SOCIAIS		ÉTICO-LEGAIS	
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	T1	T2	T3	T4	S1	S2	LE1	LE2
Ivanova, Ivanov e Radkov (2019)		X	X				X		X	X						
Sharma, Talukdar e Bhagar (2019)		X							X	X						
Horst e Dörner (2019)	X	X					X									
Fernandes e Werner (2019)							X		X	X						
Ortiz et al (2020)	X	X	X				X		X		X					
Sanagavarapu et al (2020)		X		X									X			
Tong et al (2020)		X							X							
Villanueva et al (2020)	X						X		X					X		
Mayor, López-Fernández (2021)		X		X			X		X				X			
Rodríguez, Romero e Codina (2021)							X		X							
Manero et al (2022)	X	X							X							
Ruwodo et al (2022)	X	X					X		X	X						
Fernandes et al (2022)		X														
López-Fernández et al (2022)		X		X			X		X				X			
Keselj et al (2023)					X		X		X							
Lee et al (2023)	X								X	X			X			
Permana e Nugroho (2023)							X		X							
Vargas et al (2023)		X							X							
Prasetya et al (2023)		X							X							
Alqallaf et al (2024)		X		X			X		X				X			
Gordillo, López-Fernández e Mayor (2024)		X					X			X						
Pentangelo et al (2024)	X	X					X		X	X						

Figura 5. Requisitos identificados nos estudos

Fonte: Autor (2025).

nologia de realidade virtual e software de design de jogos, desenvolvem projetos de ambientes imersivos que demonstram sua compreensão acerca dos conhecimentos estudados na disciplina que deu origem a esta atividade. Apesar de o domínio do projeto, assim como seu escopo, ter sido bem identificado e significativamente amplo, não é citado explicitamente quais requisitos deveriam ser considerados na atividade.

Considerando a questão do design (uma questão mais técnica), o estudo de Rodríguez *et al.* [2021] destaca que todos os requisitos elicitados estavam ligados à questão do design do software e à experiência do usuário.

Nos estudos López-Fernández *et al.* [2022], Mayor and López-Fernández [2021] e Gordillo *et al.* [2024], há um escopo semelhante a partir do mesmo ambiente: o Scrum VR, um videogame sério de realidade virtual para aprender Scrum. Neste caso, os requisitos de *software* foram desenvolvidos a partir da experiência real de aprendizagem da metodologia, embora haja uma diferença entre os requisitos tratados em cada estudo. Outro estudo que considera a questão do jogo é Sharma *et al.* [2019], que, apesar de não fazer menção direta aos requisitos considerados, pode-se inferir que são levados em conta, prioritariamente, RFs. Ainda nesta questão relacionada à gamificação, em Permana and Nugroho [2023] utiliza-se um jogo estruturado sobre realidade aumentada, cuja proposta é responder a questões de física. Percebe-se que os requisitos tratados foram, basicamente, RFs.

No trabalho Prasetya *et al.* [2023], apesar de se dedicar uma seção inteira à fase de requisitos, são explicitados apenas os RFs. Quanto aos RNFs, apesar de não ficar explícito, pode-se inferir que foram baseados em uma disciplina de programação em Controle Numérico Computadorizado. Por outro lado, no estudo Lee *et al.* [2023], são priorizados RNFs, relatando que foram baseados no Sutra do Coração para estruturar o processo em seis passos. Neste caso, é possível concluir que os requisitos estão baseados em um texto budista, o Sutra do Coração, cujo texto é estudado com uma reverência especial nos mosteiros Zen e nas lamaserias budistas tibetanas [Conze *et al.*, 2001], abordagem que não é

comum no Ocidente.

Pesquisadores desenvolvem, no estudo Fernandes *et al.* [2022], um *framework* que desempenha um papel crucial na Engenharia de Requisitos (ER) voltada para *softwares* orientados ao metaverso educacional, uma vez que fornece uma estrutura sólida para a construção de sistemas imersivos que atendem às necessidades pedagógicas, técnicas e sociais desse novo ambiente digital [Jali *et al.*, 2021]. Ao utilizar este *framework*, os engenheiros de *software* podem garantir que os requisitos mais importantes para o metaverso educacional sejam priorizados. Aqui há a utilização tanto de RFs como RNFs.

Em Keselj *et al.* [2023], os pesquisadores consideram alguns RNFs para minimizar a deficiência dos alunos no processo de ensino e aprendizagem de Geometria. Tais deficiências, segundo a pesquisa, historicamente reconhecidas, contribuem para a estruturação dos requisitos. De forma geral, quando há o reconhecimento de dificuldades, os professores podem contribuir de forma significativa com insights fundamentais que orientam o desenvolvimento de metaversos educacionais para superar esses problemas. Abordagem semelhante foi seguida em Villanueva *et al.* [2020] em aulas baseadas em projetos de circuitos e eletrônicos nas quais os alunos construíram seus próprios robôs durante um período semestral. Outro estudo com abordagem similar é Tong *et al.* [2020], no qual se destaca que seu ambiente virtual foi desenvolvido considerando as necessidades de um curso e, desta forma, foi proposta uma arquitetura de sistema completa.

Observando Vargas *et al.* [2023], percebe-se, prioritariamente, a utilização de RF em uma abordagem baseada no uso combinado de simulações tradicionais de orientação acadêmica em conjunto com uma ferramenta 3D denominada *Factory I/O*.

Uma análise de metaverso com RFs e RNFs razoavelmente equilibrados, desenvolvida a partir de um gap existente entre o que é ensinado nas universidades africanas e as necessidades do mercado global, é abordada no estudo Ruwodo *et al.* [2022]. Esta pesquisa desafia o desenho tradicional da universidade ao introduzir aspectos como realidade aumen-

tada, liberdade para explorar usando métodos não convencionais, aprender fazendo e sendo, dentre outros conceitos.

De forma semelhante, os estudos Fernandes and Werner [2019], Ortiz *et al.* [2020], Sanagavarapu *et al.* [2020] e Ivanova *et al.* [2019] desenvolveram requisitos para a estruturação dos ambientes a partir de cursos que já existem, destacando RFs relacionados à atividade prática real. Em todos os casos, há uma certa prevalência de RNs em detrimento de RFs.

Percebe-se, à medida que se transita de RFs para RNFs, que a literatura permite refletir sobre a da transferência de práticas e métodos de ensino tradicionais para o ambiente do metaverso, minimizando-se uma consideração cuidadosa das necessidades dos educadores e estudantes, assim como a adaptação dos métodos de entrega de conteúdo e interação para maximizar a eficácia em um ambiente virtual. Tal transferência, a qual pode ser considerada uma limitação, evidencia a relevância de se adotar critérios de qualidade de software que assegurem a adequação desses ambientes às expectativas dos usuários finais, fundamentalmente no que tange à usabilidade, que envolve aspectos como facilidade de aprendizado, eficácia, eficiência e satisfação na interação com o sistema. No contexto de metaversos educacionais, garantir altos níveis de usabilidade é essencial para mitigar barreiras de uso, promover engajamento e facilitar o alcance dos objetivos pedagógicos, assegurando que a experiência de aprendizagem virtual não apenas reproduza métodos tradicionais, mas que seja aprimorada por meio de interfaces intuitivas, navegação fluida e recursos interativos coerentes com as necessidades do público-alvo.

A análise consolidada dos estudos evidencia que os requisitos não funcionais mais frequentemente explicitados concentram-se em aspectos de infraestrutura da plataforma, como desempenho, confiabilidade e compatibilidade entre dispositivos, alinhados principalmente à dimensão técnica. Em contraste, os RNFs associados às dimensões social e ético-legal – por exemplo, inclusão, equidade, proteção de dados pessoais, transparência e governança das interações – são pouco mencionados ou tratados de maneira superficial, mesmo quando os contextos educacionais analisados envolvem dados sensíveis de estudantes e práticas colaborativas complexas.

Essa assimetria sugere um risco de desenvolvimento de metaversos educacionais tecnicamente robustos, mas social e normativamente frágeis, nos quais a experiência de uso é otimizada sem que sejam plenamente considerados direitos, responsabilidades e condições de participação seguras e inclusivas. Em vários casos, a necessidade de adaptar ou estender a classificação teórica adotada para acomodar requisitos emergentes indica que o conjunto atual de categorias de RNFs ainda não captura completamente as particularidades do metaverso educacional, reforçando a pertinência de trabalhos futuros voltados ao refinamento dessa taxonomia.

Esse cenário é compreensível quando se compreende o metaverso ainda como uma tecnologia emergente (principalmente considerando o cenário educacional), cujos potenciais educacionais estão em processo de descoberta e consolidação [Chen *et al.*, 2023]. A efetividade pedagógica desses ambientes depende de uma mediação docente mais orientadora e menos transmissiva, capaz de estruturar experiências

imersivas que apoiem autonomia, construção compartilhada de conhecimento e desenvolvimento crítico. Assim, a lacuna observada reforça a necessidade de ampliar os estudos que articulem as dimensões pedagógicas, sociais e ético-legais no desenvolvimento de metaversos educacionais, garantindo que esses ambientes virtuais sejam não apenas tecnologicamente sofisticados, mas também humanamente significativos e educacionalmente sólidos.

## 4.2 QP2: Que stakeholders estão envolvidos na construção de metaversos educacionais e de que forma sua participação (ou ausência) influencia a elicitación e a priorização de requisitos não funcionais?

O desenvolvimento do metaverso, principalmente quando voltado para objetivos educacionais, requer a colaboração de diversos *stakeholders*, dada a sua complexidade, aliada à complexidade do ambiente de ensino-aprendizagem.<sup>2</sup>

A literatura consultada destaca a predominância de pesquisadores como os principais atores envolvidos na construção desse ecossistema digital, como é possível perceber na Figura 6. No entanto, a construção do metaverso é um empreendimento multifacetado [Uddin *et al.*, 2023] que envolve uma ampla gama de interessados, cada um trazendo perspectivas e experiências únicas que moldam o desenvolvimento e a implementação dessa tecnologia [Dwivedi *et al.*, 2022].

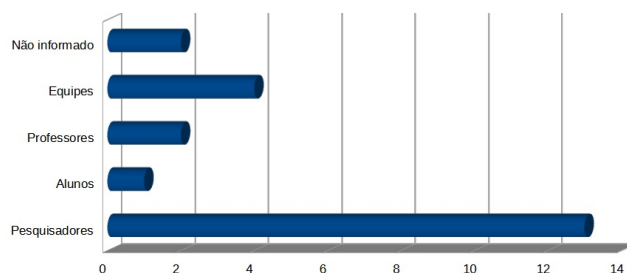


Figura 6. Stakeholders envolvidos no desenvolvimento de metaversos educacionais (pesquisadores, equipes multidisciplinares, professores, alunos e outros).

Fonte: Autor (2025).

Diante do exposto, percebe-se que os pesquisadores acadêmicos têm desempenhado um papel central no avanço das tecnologias que sustentam o metaverso, como, por exemplo, Pentangelo *et al.* [2024]. Eles estão na vanguarda do desenvolvimento de novos paradigmas, interfaces e ferramentas que possibilitam a criação de ambientes imersivos. Assim, a literatura indica que a maioria dos requisitos técnicos e funcionais do metaverso é derivada de investigações conduzidas por esses especialistas, que, ao explorar e testar novos conceitos, estabelecem as bases para a evolução do metaverso. Neste aspecto, uma ressalva é necessária. Entende-se, para fins deste estudo e para a resposta desta questão, que o pesquisador representa uma pessoa ou grupo de pessoas que desenvolvem um estudo (neste caso, do metaverso) e podem (ou não) estar ligadas ao magistério em qualquer de suas esferas. Não se confunde com o grupo de professores, indicados nesta pesquisa.

<sup>2</sup>A partir desta subseção, alguns gráficos apresentados podem apresentar as porcentagens com leves faturações em relação aos 100% devido a arredondamentos.

O segundo maior grupo corresponde a Equipes (agregam desenvolvedores, designers, gestores, etc.), constituindo-se de uma rede mais complexa que a anterior onde, além dos pesquisadores (um guarda-chuva para diferentes perfis acadêmicos e profissionais), existem outros *stakeholders*, incluindo desenvolvedores de *software*, *designers* de experiência do usuário (UX), empresas de tecnologia, governos e comunidades de usuários. Cada um desses grupos, como por exemplo, em Rodríguez *et al.* [2021], contribui de maneira distinta para o desenvolvimento do metaverso, desde o *design* de interfaces intuitivas e acessíveis até a definição de políticas que regulam a interação dentro desses ambientes virtuais. As equipes a que se referem no gráfico são formadas de formas variadas, não seguindo um padrão.

Os dois grupos seguintes são os principais interessados em um metaverso eficaz: professores e alunos. Neste caso, o professor informado é o profissional que está lotado em turma(s) e desejou realizar este estudo ou está contribuindo de forma direta na estruturação dos requisitos do metaverso considerado. São exemplos destes casos os estudos Manero *et al.* [2022] e AlQallaf *et al.* [2024].

Desenvolvedores de *software* e *designers* de UX, por exemplo, são fundamentais para transformar os conceitos teóricos desenvolvidos pelos pesquisadores em aplicações práticas que possam ser utilizadas pelos usuários finais. Empresas de tecnologia fornecem a infraestrutura necessária para suportar o funcionamento do metaverso em larga escala, enquanto governos e reguladores trabalham para estabelecer diretrizes que assegurem a segurança, privacidade e a equidade no uso dessas plataformas.

Analisando os estudos, bem como os resultados, e confrontando-os com a realidade vigente, pode-se inferir que é cada vez mais urgente a participação de profissionais da educação e alunos na concepção de metaversos educacionais, com o fim de tê-los executando suas tarefas com maior eficácia e seguindo o que é disposto nas normatizações de qualidade Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [2011], quando observa-se que o usuário é quem contribui de forma significativa para os requisitos de *software*. De forma mais específica, à luz da ISO/IEC 25010, observa-se que as características de qualidade do software devem ser continuamente alinhadas às necessidades pedagógicas dos professores e às expectativas de interação e aprendizado dos alunos. Dessa forma, compreender professores e alunos como partes interessadas prioritárias é condição essencial para que os requisitos de qualidade sejam efetivamente traduzidos em soluções tecnológicas que potencializem a aprendizagem imersiva, ao invés de apenas replicar práticas tradicionais com um novo suporte.

Do ponto de vista dos requisitos não funcionais, a baixa participação de professores e alunos na etapa de planejamento e elicitação de requisitos tende a resultar em especificações centradas em critérios técnicos de infraestrutura, em detrimento de atributos como usabilidade, acessibilidade, adequação pedagógica, engajamento e inclusão social. À luz da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) [2011], isso pode significar o privilégio das características internas de qualidade do produto em detrimento da qualidade em uso, que depende diretamente das necessidades e espec-

tativas dos usuários finais.

#### 4.3 QP3: Como as tecnologias mais utilizadas em metaversos educacionais são aplicadas na Educação, em quais contextos específicos (por exemplo, salas de aula virtuais, simulações, jogos, laboratórios virtuais) são implementadas e que implicações essas escolhas trazem para os requisitos não funcionais?

Durante o mapeamento conduzido nesta pesquisa, foi identificado que as tecnologias utilizadas no desenvolvimento de metaversos educacionais nos artigos analisados podem ser classificadas em três categorias principais, conforme destacado na Figura 7.

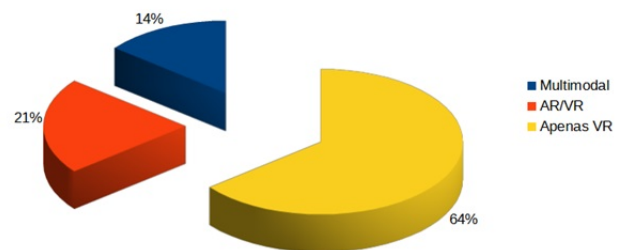


Figura 7. Principais tecnologias mais utilizadas em metaversos educacionais

Fonte: Autor (2025).

- Metaversos educacionais baseados exclusivamente em Realidade Virtual (RV): Esses metaversos utilizam ambientes imersivos criados inteiramente em RV, onde os usuários podem explorar, interagir e aprender em espaços tridimensionais.
- Metaversos que combinam Realidade Virtual (RV) e Realidade Aumentada (RA): Nesse grupo, os metaversos mesclam ambientes virtuais imersivos com elementos de RA, permitindo que objetos virtuais sejam integrados ao mundo físico.
- Metaversos multimodais: Esta categoria inclui metaversos que utilizam mais de duas tecnologias associadas, como RV, RA, inteligência artificial (IA), sensores hápticos e até mesmo internet das coisas (IoT). Esses sistemas oferecem uma experiência rica e multifacetada, permitindo interações mais naturais e personalizadas.

A Realidade Virtual (RV) é uma tecnologia disruptiva recente, com um mercado em rápida expansão. Consiste em ambientes gerados por software que simulam experiências imersivas, proporcionando uma interação mais próxima da realidade dentro de um contexto virtual [Karre *et al.*, 2019] que foi construído principalmente para gerar uma configuração de treinamento simulada e administrar a exposição virtual a eventos na vida real, proporcionando benefícios aos alunos, tais como: aprendizagem interativa utilizando o material ou equipamento necessário, aprendizagem prática a partir da resolução de problemas e aprendizagem cooperativa e colaborativa [Akbulut *et al.*, 2018]

Acerca da utilização da RV, destaca-se ainda que são necessários ajustes periódicos nos métodos de utilização desta tecnologia e ferramentas que podem melhorar a qualidade do produto e ajudar os profissionais durante o desenvolvimento do produto [Karre *et al.*, 2019]. Realizar revisões incrementais periódicas de especificações e correlacioná-las constantemente com as restrições e exigências do projeto educacional em questão poderá mostrar bons resultados. Uma dessas melhorias é a simbiose entre a RV e a realidade aumentada (RA), a segunda maior utilização encontrada na literatura investigada.

Com o intuito de reunir requisitos razoáveis para o processo de ensino e aprendizagem, um grupo menor de pesquisadores utilizou um panorama multimodal, observando que os requisitos tendem a fluir de diferentes direções, dada a complexidade do ambiente aliada à complexidade do processo de ensino e aprendizagem. Dentro do panorama multimodal, destaca-se a *blockchain* [Di Dario *et al.*, 2023], dada a necessidade de operações seguras neste ambiente. O tipo e a complexidade de uma *blockchain* dependem da maturidade do aplicativo e do espectro de aplicação [Mourtzis *et al.*, 2023]. Além da questão educacional, o problema dos ataques no metaverso (agressões, assédio, etc) vem preocupando cientistas e autoridades e, por este motivo, esta tecnologia constitui-se como um dos pilares no processo de imersão neste ambiente [Aks *et al.*, 2022].

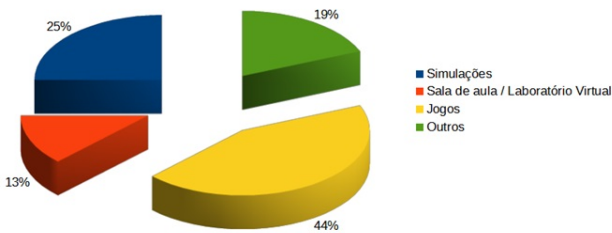


Figura 8. Contextos de aplicação utilizados no metaverso  
Fonte: Autor (2025).

Em termos de aplicações, conforme destacado na Figura 8, os jogos, por sua natureza lúdica [Afacan, 2023], têm uma significativa preferência dos pesquisadores. Em menor quantidade, vem a utilização de laboratórios virtuais. Sua vantagem reside na realização de mais experimentos, apesar das restrições de tempo, complexidade e possibilidade de lesões, aumentando o interesse dos alunos em aprender por meio da interação, ao mesmo tempo em que os ajuda a aplicar melhor o que aprenderam em sala de aula e gera economia de recursos financeiros [Morsanuto *et al.*, 2023]. O uso de um laboratório virtual como uma ferramenta prática de ensino para compreender experimentos pode oportunizar uma aprendizagem mais efetiva, promovendo a alfabetização em qualquer nível [Prasetya *et al.*, 2023].

Uma inferência possível está relacionada à necessidade de uma ferramenta norteadora para a estruturação dos requisitos no desenvolvimento de metaversos educacionais, reunindo tecnologias, aplicações e necessidades de alunos e professores. Neste cenário, a literatura pesquisada sugere que ambientes imersivos criam uma experiência de aprendizagem muito mais estimulante; entretanto há a necessidade de

um conjunto de recursos sistematizados para nortear o desenvolvimento dos requisitos e, por conseguinte, do desenvolvimento de aplicações.

A análise das tecnologias envolvidas neste ambiente imersivo garante que o desenvolvimento de *softwares* educacionais esteja alinhado não apenas às capacidades tecnológicas, mas também às necessidades pedagógicas, sociais e técnicas. Essa descoberta oferece uma visão clara sobre os desafios e oportunidades que moldam o design e a implementação de metaversos educacionais, promovendo ambientes de aprendizado inovadores, eficazes e centrados nos usuários.

A distribuição das tecnologias e contextos de uso identificados também traz implicações diretas para os requisitos não funcionais. Metaversos baseados exclusivamente em realidade virtual, por exemplo, impõem exigências mais rigorosas de desempenho gráfico, latência, conforto visual e prevenção de efeitos adversos, como *cybersickness*, enquanto ambientes multimodais que combinam RV, RA, sensores hápticos e *blockchain* ampliam as demandas de segurança, integridade e privacidade de dados.

De forma semelhante, contextos como jogos educacionais, laboratórios virtuais e salas de aula virtuais exigem conjuntos distintos de RNFs: jogos demandam atributos ligados a engajamento, feedback em tempo real e balanceamento de desafios; laboratórios virtuais exigem forte confiabilidade, rastreabilidade de ações e segurança ao simular cenários de risco; já as salas de aula virtuais requerem interoperabilidade entre dispositivos, escalabilidade e mecanismos de comunicação síncrona robustos.

#### 4.4 QP4: Quais teorias da aprendizagem têm sido consideradas na construção de metaversos educacionais e como elas se refletem nos requisitos não funcionais pedagógicos e sociais especificados (ou negligenciados) nos estudos?

Antes de tratar dos achados do mapeamento relacionados a esta questão, é necessário conceituar o que será mencionado posteriormente.

A inclusão da QP4 neste mapeamento decorre do entendimento de que as teorias pedagógicas adotadas influenciam diretamente os requisitos não funcionais a serem priorizados, em especial aqueles ligados às dimensões pedagógica e social, como engajamento, colaboração, autonomia do estudante e suporte a diferentes estilos cognitivos.

Existe uma quantidade significativa de teorias pedagógicas desenvolvidas ao longo dos séculos. Contudo, para sintetizar os achados da pesquisa, essas teorias foram alocadas em dois grandes grupos: instrucionismo e construcionismo. O instrucionismo é uma abordagem tradicional de ensino que se caracteriza pela transmissão de conhecimento do professor para o aluno [Santos *et al.*, 2023]. Nesse modelo, a figura do educador é central, fornecendo informações de forma direta e estruturada. Quanto ao construcionismo, este se apresenta como uma proposta alternativa diante do instrucionismo. Neste paradigma, percebe-se uma mudança de foco, uma vez que o professor não é mais a figura ativa fundamental do processo de ensino e aprendizagem. Um processo construcionista tem o objetivo de que o aluno assuma

a dianteira da sua própria aprendizagem. É como se o professor deixasse de ser um mero transmissor de informações e se tornasse um facilitador, um guia que oferece suporte, mas também espaço para que o aluno descubra e construa o conhecimento por si mesmo [Wisniewski, 2022].

É com base nesses dois conceitos que ocorrerão as discussões desta pesquisa.

Com o objetivo de aproveitar ao máximo o potencial do metaverso, é fundamental que seu uso seja orientado por teorias pedagógicas robustas que guiem as práticas educacionais e garantam a efetividade da aprendizagem. É necessário escolher adequadamente a teoria a servir como base, uma vez que as pedagogias tradicionais muitas vezes não conseguem envolver totalmente os alunos e fornecer aprendizado experimental do mundo real [AlQallaf et al., 2024]. Por outro lado, os fundamentos de cada uma dessas teorias nortearão a estruturação dos requisitos, fundamentalmente RNFs.

Nos trabalhos consultados nesta pesquisa, o instrucionismo foi a principal teoria que serviu de base para a estruturação dos metaversos, seguido pelo construcionismo, como é possível perceber na Figura 7. O instrucionismo, derivado da tradição behaviorista, é uma abordagem pedagógica centrada no professor, na qual o conhecimento é transmitido de forma direta ao aluno [Lederman, 2024]. Esta abordagem pode ser útil em cenários onde a repetição e a memorização de procedimentos são necessários, como em treinamentos em ambientes de realidade aumentada. No entanto, para que o instrucionismo no metaverso seja efetivo, é crucial que os educadores não apenas transmitam o conteúdo, mas promovam atividades interativas e visuais que complementem a transmissão do conhecimento, oferecendo um ambiente mais dinâmico e envolvente [Gordillo et al., 2024].

Já o construcionismo, teoria proposta pelo matemático sul-africano Seymour Papert [Harel and Papert, 1991] e fundamentada nas ideias construtivistas de Jean Piaget, defende que a aprendizagem é mais eficaz quando os alunos constroem ativamente seu próprio conhecimento. No metaverso, essa abordagem se torna extremamente poderosa, pois os alunos podem interagir diretamente com objetos virtuais e ambientes tridimensionais para criar e testar hipóteses, explorar conceitos e desenvolver habilidades cognitivas de maneira prática através, por exemplo, de laboratórios virtuais, onde os alunos podem simular experimentos, construir maquetes tridimensionais de estruturas moleculares ou desenvolver protótipos de engenharia [Sanagavarapu et al., 2020]. A possibilidade de testar, ajustar e melhorar suas criações em um ambiente de baixo risco permite que os alunos aprendam de maneira mais aprofundada e desenvolvam uma compreensão significativa dos conteúdos.

Em alguns trabalhos, dada a sua natureza, não foi possível identificar uma teoria pedagógica subjacente, como em Fernandes et al. [2022], ou não comportavam uma teoria pedagógica associada, como em Pentangelo et al. [2024].

Teorias pedagógicas desempenham um papel central no sucesso das experiências educacionais no metaverso e podem nortear uma ação mais assertiva no que tange à estruturação de requisitos, principalmente quando se considera a ação de professores e alunos neste processo de estruturação. O metaverso educacional, guiado por essas teorias, pode proporcionar uma educação mais inclusiva, colaborativa e voltada

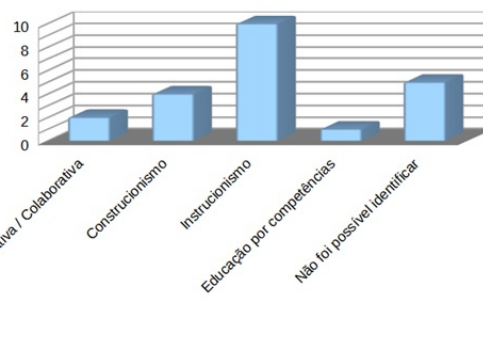


Figura 9. Aspectos pedagógicos utilizados na estruturação dos metaversos educacionais

Fonte: Autor (2025).

para o desenvolvimento integral do estudante, preparando-o para os desafios do mundo contemporâneo.

A predominância de abordagens instrucionistas, combinada com o forte uso de jogos e ambientes de realidade virtual, ajuda a explicar por que muitos dos metaversos educacionais identificados se configuram como mera virtualização de práticas tradicionais, com ênfase em requisitos técnicos e na entrega de conteúdo. Em contrapartida, os poucos estudos alinhados a perspectivas construcionistas tendem a demandar requisitos não funcionais mais robustos de interatividade, colaboração, registro de ações e adaptabilidade, indicando um caminho promissor para explorar de forma mais plena o potencial pedagógico das tecnologias imersivas.

## 5 Resultados e Discussão

A integração dos achados das quatro questões de pesquisa permite observar um padrão recorrente: a literatura prioriza a especificação de requisitos não funcionais ligados à infraestrutura técnica, ao mesmo tempo em que dedica pouca atenção sistemática às dimensões social e ético-legal, apesar de reconhecer a relevância de aspectos como interatividade, inclusão e segurança em ambientes imersivos. Essa configuração se correlaciona com o perfil dos *stakeholders* predominantes (pesquisadores e equipes técnicas) e com a escolha de tecnologias e contextos de uso centrados em jogos e experiências pontuais.

Ao relacionar tipos de tecnologias (QP3) e *stakeholders* envolvidos (QP2), nota-se que projetos conduzidos majoritariamente por pesquisadores e equipes multidisciplinares, com pouca participação direta de professores e alunos, tendem a enfatizar RNFs de desempenho, confiabilidade e compatibilidade, enquanto requisitos associados à acessibilidade, à mediação pedagógica e à participação equitativa permanecem implícitos ou não são formalizados. De maneira semelhante, a análise conjunta da QP1 e QP3 indica que contextos como laboratórios virtuais exigem RNFs fortes de precisão, rastreabilidade e segurança, porém poucos estudos explicitam tais requisitos de forma alinhada às normas de qualidade em software.

Por fim, a articulação entre as teorias de aprendizagem identificadas (QP4) e os perfis de *stakeholders* (QP2) sugere que a participação ativa de professores e estudantes na concepção de metaversos está associada a uma maior explicitação de requisitos pedagógicos e sociais, ainda que de forma incipiente. Isso reforça a necessidade de abordagens

de Engenharia de Requisitos que integrem, desde o início do processo, perspectivas pedagógicas e multidisciplinares, de modo a ir além da simples transposição de práticas tradicionais para ambientes tridimensionais e favorecer o desenho de RNFs que aproveitem de forma efetiva o potencial das tecnologias imersivas.

## 6 Ameaças à validade

Durante a execução deste trabalho, identificamos as seguintes ameaças à validade deste mapeamento.

Em primeiro lugar, foram devolvidos estudos que mencionaram as palavras "requirements" e/ou "metaverse", principalmente no título, resumo e palavras-chave. Outras palavras relacionadas ou sinônimos poderiam ter sido usadas, mas poderiam retornar muitos artigos fora do escopo. Neste sentido, é possível que o procedimento de busca tenha perdido um número limitado de estudos que se referem à Engenharia de Requisitos e Metaverso, mas isso não é referenciado ao seu título, resumo ou palavras-chave.

Um segundo aspecto relaciona-se à exclusão de trabalhos em andamento e trabalhos secundários na revisão, cuja ação pode ter alterado os resultados da revisão devido à natureza desses estudos, em comparação com periódicos e conferências.

O terceiro aspecto refere-se à exclusão de aplicações restritas ao meio industrial, bem como aplicações voltadas para educação inclusiva e/ou voltadas para crianças e jovens com necessidades educacionais especiais também pode ter sido mais uma limitação para o trabalho. Apesar da reconhecida importância destes trabalhos, entende-se que sua especificidade poderia gerar muitos artigos que, embora dentro do escopo da pesquisa, não estariam inclusos dentro do objetivo que é tratar o processo educacional em seu espectro amplo. Acredita-se que estas categorias merecem uma atenção especial e uma pesquisa voltada para este fim.

Por fim, a limitação relacionada à ausência de uma avaliação formal da qualidade metodológica dos estudos primários selecionados. Todos os artigos incluídos foram considerados com o mesmo peso durante a análise, independentemente de diferenças quanto ao rigor metodológico, tipo de validação ou desenho de pesquisa adotado. Apesar de ser compatível com a natureza de um mapeamento sistemático, tal abordagem pode influenciar a interpretação dos resultados, especialmente no que se refere à frequência e à relevância dos requisitos não funcionais identificados.

Como trabalho futuro, sugere-se a realização de estudos secundários que incorporem critérios explícitos de avaliação da qualidade dos estudos primários, possibilitando a ponderação dos resultados e o fortalecimento das conclusões relacionadas aos requisitos não funcionais em metaversos educacionais.

Além disso, estudos futuros também podem gerar o desenvolvimento de uma taxonomia, dadas as especificidades mencionadas acima,

## 7 Considerações finais

A Engenharia de Requisitos, no contexto de metaversos educacionais, representa uma área emergente e desafiadora, principalmente ao tratar-se da correta elicitação dos requisi-

tos de software, sejam eles funcionais ou não funcionais. No entanto, há um amplo leque de oportunidades para a criação de soluções inovadoras, principalmente no campo da educação. A complexidade desses ambientes, que combinam tecnologias como realidade virtual, aumentada e interações sociais em espaços tridimensionais, exige uma abordagem multidisciplinar na definição dos requisitos que considere, desde as etapas iniciais do desenvolvimento, os múltiplos perfis de *stakeholders* envolvidos.

Além disso, a incorporação de requisitos não funcionais relacionados às quatro dimensões tratadas nesta pesquisa torna-se essencial para garantir não apenas a viabilidade técnica do sistema, mas, principalmente, a qualidade do software entregue. Tais requisitos são fundamentais para assegurar uma experiência de aprendizagem imersiva, eficiente e inclusiva, características críticas no contexto educacional.

O presente mapeamento evidenciou que muitos dos requisitos utilizados ainda são derivados de práticas baseadas em contextos físicos e modelos pedagógicos tradicionais, tornando-os uma mera virtualização de processos já amplamente difundidos. Esta observação reforça a necessidade de evolução metodológica no planejamento de metaversos educacionais. Este cenário aponta para um campo fértil de pesquisa e inovação, onde a qualidade do *software* deve ser tratada como um atributo estratégico para o sucesso e a escalabilidade de soluções educacionais imersivas.

Foram, ainda, identificadas duas lacunas importantes: (i) a quase totalidade dos estudos analisados não aborda questões éticas e legais, tornando o metaverso um ambiente potencialmente inseguro; (ii) RNFs relacionados à interação e inclusão social são pouco explorados, tornando este ambiente imersivo subutilizado. Assim, grande parte dos estudos carece de modelos estruturados para a avaliação da qualidade, e requisitos como implementação de um design universal, utilização de assistentes virtuais, interoperabilidade, privacidade e interatividade ainda são pouco explorados. Esses achados indicam a necessidade de uma abordagem mais sistemática e multidisciplinar para o desenvolvimento de metaversos educacionais que realmente atendam aos critérios de qualidade exigidos em contextos educacionais diversos.

Diante do exposto, algumas questões surgem como propostas de análise em trabalhos futuros, como: a proposição e posterior validação de uma taxonomia, utilizando a técnica de consulta a especialistas; a criação de um guia/processo para elicitação/especificação de requisitos educacionais para o desenvolvimento de metaversos educacionais; e a avaliação de um metaverso educacional a ser implementado usando como base a taxonomia e/ou o guia a serem propostos.

Por fim, espera-se que as reflexões e a estrutura proposta possam apoiar pesquisadores, desenvolvedores e gestores educacionais na construção de metaversos mais alinhados aos princípios de qualidade definidos por normas internacionais, como a ISO/IEC 25010. Além de contribuir para a sistematização teórica, este trabalho reforça a importância de considerar professores e estudantes como *stakeholders* centrais, garantindo que os requisitos elicitados não apenas atendam às necessidades técnicas, mas também potencializem experiências de aprendizagem significativas, seguras e eficazes.

## Contribuição dos Autores

Ricardo Normando Ferreira de Paula foi responsável pela concepção do estudo, condução do mapeamento sistemático da literatura, definição da taxonomia proposta, análise dos resultados e redação principal do manuscrito. Paulo Henrique Mendes Maia contribuiu na orientação metodológica, revisão crítica do conteúdo e validação da estrutura conceitual da taxonomia. Heitor Barros Chrisóstomo colaborou na análise dos dados, revisão técnica do artigo e aprimoramento da consistência conceitual do trabalho. Todos os autores leram e aprovaram a versão final do manuscrito.

## Conflitos de Interesse

Os autores declaram que não há conflitos de interesse relacionados à pesquisa, autoria e/ou publicação deste artigo.

## Disponibilidade de Dados e Materiais

Os dados utilizados neste estudo são provenientes de um Mapeamento Sistemático da Literatura previamente conduzido pelos autores, seguindo um protocolo metodológico estruturado e critérios explícitos de busca, seleção e análise dos estudos primários. Por se tratar de dados secundários extraídos de publicações científicas indexadas, não há restrições éticas quanto ao seu uso. As estratégias de busca, critérios de inclusão e exclusão, bem como a lista de estudos selecionados, encontram-se descritos no artigo correspondente ao mapeamento previamente publicado. Informações adicionais podem ser disponibilizadas pelos autores mediante solicitação razoável.

## Referências

- Aedah, A. R. (2020). Quality consideration for e-learning system based on iso/iec 25000 quality standard. *CEUR Workshop Proceedings*, 2545:23–29. Disponível em: <https://ceur-ws.org/Vol-2545/paper-03.pdf>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Afacan, N. M. (2023). Gamification in metaverse. In *Metaverse: Technologies, Opportunities and Threats*, pages 187–202. Springer. DOI: 10.1007/978-981-99-4641-9\_13.
- Akbulut, A., Catal, C., and Yildiz, B. (2018). On the effectiveness of virtual reality in the education of software engineering. *Computer Applications in Engineering Education*, 26(4):918–927. DOI: 10.1002/cae.21935.
- Aks, S. M. Y., Karmila, M., Givan, B., Hendratna, G., Setiawan, H. S., Putra, A. S., Winarno, S. H., Kurniawan, T. A., Simorangkir, Y. N., Taufiq, R., et al. (2022). A review of blockchain for security data privacy with metaverse. In *2022 International Conference on ICT for Smart Society (ICISS)*, pages 1–5. IEEE. DOI: 10.1109/iciss55894.2022.9915055.
- AlQallaf, N., Elnagar, D. W., Aly, S. G., Elkhodary, K. I., and Ghannam, R. (2024). Empathy, education, and awareness: A vr hackathon’s approach to tackling climate change. *Sustainability*, 16(6):2461. DOI: 10.3390/su16062461.
- Arantes, J. (2024). Digital twins and the terminology of “personalization” or “personalized learning” in educational policy: A discussion paper. *Policy Futures in Education*, 22(4):524–543. DOI: 10.1177/14782103231176357.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (2011). ABNT NBR ISO/IEC 25010:2011 – Engenharia de software – Requisitos de qualidade e avaliação de produto de software (SQuaRE) – Modelo de qualidade do produto. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=82029>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Bhattacharya, P., Saraswat, D., Savaliya, D., Sanghavi, S., Verma, A., Sakariya, V., Tanwar, S., Sharma, R., Raiboa, M. S., and Manea, D. L. (2023). Towards future internet: The metaverse perspective for diverse industrial applications. *Mathematics*, 11(4):941. DOI: 10.3390/math11040941.
- Brasil (1998). Lei nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998 — altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/19610.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19610.htm). Acesso em: 01 maio 2025.
- Brasil (2015). Lei brasileira de inclusão da pessoa com deficiência (estatuto da pessoa com deficiência), lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm). Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2015/Lei/L13146.htm). Acesso em: 9 fev. 2025.
- BRASIL (2018). Lei geral de proteção de dados pessoais (lgpd). Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/lei/113709.htm).
- Chen, X., Zou, D., Xie, H., and Wang, F. L. (2023). Metaverse in education: Contributors, cooperations, and research themes. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(6):1111–1129. DOI: 10.1109/tlt.2023.3277952.
- Congress, U. S. (1998). Digital millennium copyright act (dmca). Disponível em: <https://digital.gov/resources/digital-millennium-copyright-act>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Consortium, W. W. W. W. (2023). Web content accessibility guidelines (wcag) 2.2. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Conze, E., Thornton, J. F., Varenne, S., and Simmer-Brown, J. (2001). Buddhist wisdom: The diamond sutra and the heart sutra. Book.
- da Educação, B. M. (2010). Diretrizes curriculares nacionais gerais da educação básica. Disponível em: <http://portal.mec.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- da Educação, B. M. (2018). Base nacional comum curricular. Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br>. Acesso em: 30 mar. 2025.
- Damaševičius, R. and Sidekierskienė, T. (2024). Virtual worlds for learning in metaverse: A narrative review. *Sustainability*, 16(5):2032. DOI: 10.3390/su16052032.
- DeVeaux, C. and Bailenson, J. (2022). Learning about vr in vr. *XRDS: Crossroads, The ACM Magazine for Students*, 29(1):14–19. DOI: 10.1145/3558189.
- Di Dario, D., Bilott, U., Sibilio, M., Gravino, C., and Palomba, F. (2023). Toward a secure educational metaverse: A tale

- of blockchain design for educational environments. In *2023 49th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA)*, pages 159–166. IEEE. DOI: 10.1109/seaa60479.2023.00032.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., Dennehy, D., Metri, B., Buhalis, D., Cheung, C. M., et al. (2022). Metaverse beyond the hype: Multidisciplinary perspectives on emerging challenges, opportunities, and agenda for research, practice and policy. *International journal of information management*, 66:102542. DOI: 10.1016/j.ijinfomgt.2022.102542.
- Fernandes, F. and Werner, C. (2019). Towards immersive learning in object-oriented paradigm: A preliminary study. In *2019 21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pages 59–68. IEEE. DOI: 10.1109/svr.2019.00026.
- Fernandes, F. and Werner, C. (2022a). A systematic literature review of the metaverse for software engineering education: overview, challenges and opportunities. *PRESENCE: Washington, WA, USA*. DOI: 10.13140/RG.2.2.25341.64489.
- Fernandes, F. A., Castro, D. C., Rodrigues, C. S., and Werner, C. M. (2022). Evaluating user experience of a software engineering education virtual environment. In *Proceedings of the 24th Symposium on Virtual and Augmented Reality*, pages 137–141. DOI: 10.1145/3604479.3604516.
- Fernandes, F. A. and Werner, C. M. (2022b). A scoping review of the metaverse for software engineering education: Overview, challenges, and opportunities. *PRESENCE: Virtual and Augmented Reality*, 31:107–146. DOI: 10.1162/pres\_a00371.
- Gim, G., Bae, H., and Kang, S. (2022). Metaverse learning: The relationship among quality of vr-based education, self-determination, and learner satisfaction. In *2022 IEEE/ACIS 7th International Conference on Big Data, Cloud Computing, and Data Science (BCD)*, pages 279–284. IEEE. DOI: 10.1109/bcd54882.2022.9900629.
- Gordillo, A., López-Fernández, D., and Mayor, J. (2024). Examining and comparing the effectiveness of virtual reality serious games and lego serious play for learning scrum. *Applied Sciences*, 14(2):830. DOI: 10.3390/app14020830.
- Harel, I. E. and Papert, S. E. (1991). *Constructionism*. Ablex Publishing. Book.
- Horst, R. and Dörner, R. (2019). Mining virtual reality nuggets: A pattern-based approach for creating virtual reality content based on microlearning methodology. In *2019 IEEE International Conference on Engineering, Technology and Education (TALE)*, pages 1–8. IEEE. DOI: 10.1109/tale48000.2019.9225867.
- Ivanova, G. I., Ivanov, A., and Radkov, M. (2019). 3d virtual learning and measuring environment for mechanical engineering education. In *2019 42nd International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)*, pages 1463–1468. IEEE. DOI: 10.23919/mipro.2019.8756940.
- Jali, N., Hamdan, N. M., Shiang, C. W., and Jali, S. K. (2021). Developing an evaluation framework for immersive learning experiences for software engineering project course. In *Knowledge Management International Conference (KMICe)*. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/349109981\\_Developing\\_an\\_Evaluation\\_Framework\\_for\\_Immersive\\_Learning\\_Experiences\\_for\\_Software\\_Engineering\\_Project\\_Course](https://www.researchgate.net/publication/349109981_Developing_an_Evaluation_Framework_for_Immersive_Learning_Experiences_for_Software_Engineering_Project_Course).
- Karre, S. A., Mathur, N., and Reddy, Y. R. (2019). Is virtual reality product development different? an empirical study on vr product development practices. In *Proceedings of the 12th Innovations in Software Engineering Conference (formerly known as India Software Engineering Conference)*, pages 1–11. DOI: 10.1145/3299771.3299772.
- Keselj, A., Zubrinic, K., Milicevic, M., and Kuzman, M. (2023). An overview of 3d holographic visualization technologies and their applications in education. In *2023 46th MIPRO ICT and Electronics Convention (MIPRO)*, pages 454–459. IEEE. DOI: 10.23919/mipro57284.2023.10159973.
- Kitchenham and Charters (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Disponível em: [https://legacyfileshare.elsevier.com/promis\\_misc/525444systematicreviewsguide.pdf](https://legacyfileshare.elsevier.com/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf).
- Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., and Jo, S. (2021). Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. *Journal of educational evaluation for health professions*, 18. DOI: 10.3352/jeehp.2021.18.32.
- Lederman, J. L. (2024). Stem learning through video games. In *Encyclopedia of Computer Graphics and Games*, pages 1759–1761. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-08234-9\_328 – 1.
- Lee, C.-S., Wang, M.-H., Reformat, M., and Huang, S.-H. (2023). Human intelligence-based metaverse for co-learning of students and smart machines. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 14(6):7695–7718. DOI: 10.1007/s12652-023-04580-2.
- Longo, W. and Tavares, F. (2022). *Metaverso: onde você vai viver e trabalhar em breve*. Alta Books. Book.
- López-Fernández, D., Mayor, J., Pérez, J., and Gordillo, A. (2022). Learning and motivational impact of using a virtual reality serious video game to learn scrum. *IEEE Transactions on Games*, 15(3):430–439. DOI: 10.1109/TG.2022.3213127.
- Manero, B., Álvarez, I. M., Romero, A., and Cárdenas, M. M. (2022). Adopting an immersive virtual reality system to enhance pre-service teachers’ communicative competence. In *2022 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, pages 317–321. IEEE. DOI: 10.1109/icalt55010.2022.00101.
- Market Research Future (2025). United states metaverse market overview. Disponível em: <https://www.marketresearchfuture.com/reports/us-metaverse-market-15812>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Mayor, J. and López-Fernández, D. (2021). Scrum vr: Virtual reality serious video game to learn scrum. *Applied Sciences*, 11(19):9015. DOI: 10.3390/app11199015.
- Morsanuto, S., Cipollone, E., and Peluso Cassese, F. (2023). Learning labs and virtual reality. the metaverse to enhance learning. In *International Conference on Human-Computer Interaction*, pages 63–80. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-35897-5\_5.

- Mourtzis, D., Angelopoulos, J., and Panopoulos, N. (2023). Metaverse and blockchain in education for collaborative product-service system (pss) design towards university 5.0. *Procedia CIRP*, 119:456–461. DOI: 10.1016/j.procir.2023.01.008.
- Odeh, Y. (2024). Non-functional requirements classification for healthcare applications in the metaverse. In *International Conference on Information Management*, pages 452–464. Springer. DOI: 10.1007/978-3-031-64359-0\_35.
- Ortiz, G., Garcia-de Prado, A., Boubeta-Puig, J., and Cwierz, H. (2020). A mobile application as didactic material to improve learning on distributed architectures. In *2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, pages 998–1003. IEEE. DOI: 10.1109/csci51800.2020.00185.
- Park, S.-M. and Kim, Y.-G. (2022). A metaverse: Taxonomy, components, applications, and open challenges. *IEEE access*, 10:4209–4251. DOI: 10.1109/access.2021.3140175.
- Pentangelo, V., Di Dario, D., Lambiase, S., Ferrucci, F., Gravino, C., and Palomba, F. (2024). Senem: A software engineering-enabled educational metaverse. *Information and Software Technology*, 174:107512. DOI: 10.1016/j.infsof.2024.107512.
- Permana, A. and Nugroho, D. (2023). Monopoly-based augmented reality game design as a practice media in learning the physics of magnetism concepts. In *Journal of Physics: Conference Series*, volume 2596, page 012081. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/2596/1/012081.
- Prasetya, F., Syahri, B., Fajri, B. R., Wulansari, R. E., and Fortuna, A. (2023). Utilizing virtual laboratory to improve cnc distance learning of vocational students at higher education. *TEM Journal (Technology, Education, Management, Informatics) Volume*, 12:1506–1518. DOI: 10.18421/tem123-31.
- Rodríguez, J. L., Romero, I., and Codina, A. (2021). The influence of neotrie vr’s immersive virtual reality on the teaching and learning of geometry. *Mathematics*, 9(19):2411. DOI: 10.3390/math9192411.
- Rueda, S., Panach, J. I., and Distant, D. (2020). Requirements elicitation methods based on interviews in comparison: A family of experiments. *Information and Software Technology*, 126:106361. DOI: 10.1016/j.infsof.2020.106361.
- Ruwodo, V., Pinomaa, A., Vesisenaho, M., Ntinda, M., and Sutinen, E. (2022). Enhancing software engineering education in africa through a metaversity. In *2022 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 1–8. IEEE. DOI: 10.1109/fie56618.2022.9962729.
- Sanagavarapu, L. M., Damaraju, M., Pillutla, R. S., Chopella, V., Reddy, Y. R., and Raman, P. (2020). An se approach for coco learning of virtual labs. In *2020 IEEE 32nd Conference on Software Engineering Education and Training (CSEET)*, pages 1–6. IEEE. DOI: 10.1109/cseet49119.2020.9206206.
- Santos, S. M. A. V., Narciso, R., Fernandes, A. B., Barros, A. M. R., dos Santos Filho, E. B., Medeiros, J. M., da Silva, M. V. M., and Meroto, M. B. d. N. M. (2023). A escola contemporânea: desafios e oportunidades na educação do século xxi. *Revista Foco*, 16(10). Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/3448>.
- Serafim, J. and de Bem, S. (2022). *O Futuro da Internet: Metaverso*. Literare Books International. Book.
- Sharma, V., Talukdar, J., and BHAGAT, K. K. (2019). Codar: An augmented reality based game to teach programming. In *International Conference on Computers in Education*. DOI: 10.58459/icce.2019.633.
- Sirvermez, U. and Baltaci, Ş. (2023). Metaverse applications in education: Systematic literature review and bibliographic analysis of 2010–2022. *Metaverse*, pages 397–417. DOI: 10.1007/978-981-99-4641-9\_27.
- Sommerville, I. (2018). *Engenharia de Software, 10/E*. Pearson Education do Brasil. Book.
- Stanoevska-Slabeva, K. (2022). Opportunities and challenges of metaverse for education: a literature review. *Edulearn22 Proceedings*, pages 10401–10410. DOI: 10.21125/edulearn.2022.2527.
- Stephenson, N. (1994). Snow crash. DOI: 10.1016/0016-3287(94)90052-3.
- Tong, Y., Xie, F., Zheng, X., and Wei, Y. (2020). Design and application of virtual training system for computer hardware assembly. In *Proceedings of the 2nd World Symposium on Software Engineering*, pages 146–150. DOI: 10.1145/3425329.3425365.
- Troquard, N., De Sanctis, M., Inverardi, P., Pelliccione, P., and Scoccia, G. L. (2023). Social, legal, ethical, empathetic, and cultural rules: Compilation and reasoning (extended version). *arXiv preprint arXiv:2312.09699*. DOI: 10.48550/arxiv.2312.09699.
- Uddin, M., Manickam, S., Ullah, H., Obaidat, M., and Dandoush, A. (2023). Unveiling the metaverse: Exploring emerging trends, multifaceted perspectives, and future challenges. *IEEE Access*, 11:87087–87103. DOI: 10.1109/access.2023.3281303.
- Umar, R., Robiin, B., Erviana, V. Y., Taruna, M. I., and Kurniawan, A. (2025). Analysis of software requirement specification and use case diagram of metaverse museum muhammadiah. *Preservation, Digital Technology & Culture*, (0). DOI: 10.1515/pdct-2024-0062.
- UNESCO (2022). La unesco y telefónica se comprometen a promover, impulsar e implementar la recomendación sobre la Ética de la inteligencia artificial. Disponível em: <https://www.telefonica.com/es/sala-comunicacion/prensa/la-unesco-y-telefonica-se-comprometen-a-promover-impulsar-e-implementar-la-recomendacion-sobre-la-etica-de-la-inteligencia-artificial/>.
- Union, E. (2016). Regulation (eu) 2016/679 of the european parliament and of the council of 27 april 2016 — general data protection regulation (gdpr). Disponível em: <https://gdpr-info.eu/>. Acesso em: 01 maio 2025.
- Vargas, H., Heradio, R., Donoso, M., and Farias, G. (2023). Teaching automation with factory i/o under a competency-based curriculum. *Multimedia Tools and Applications*, 82(13):19221–19246. DOI: 10.1007/s11042-022-14047-9.
- Villanueva, A., Zhu, Z., Liu, Z., Pepler, K., Redick, T., and Ramani, K. (2020). Meta-ar-app: an authoring platform for collaborative augmented reality in stem classrooms. In *Proceedings of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems*, pages 1–14. DOI:

10.1145/3313831.3376146.

- Wang, H., Ning, H., Lin, Y., Wang, W., Dhelim, S., Farha, F., Ding, J., and Daneshmand, M. (2023). A survey on the metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*, 10(16):14671–14688. DOI: 10.1109/jiot.2023.3278329.
- Wisniewski, R. T. (2022). A teoria construcionista. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, 3(4):e341390–e341390. DOI: 10.47820/recima21.v3i4.1390.
- Yilmaz, M., O’farrell, E., and Clarke, P. (2023). Examining the training and education potential of the metaverse: Results from an empirical study of next generation safe training. *Journal of Software: Evolution and Process*, 35(9):e2531. DOI: 10.1002/smr.2531.
- Zhang, S., Li, J., Shi, L., Ding, M., Nguyen, D. C., Chen, W., and Han, Z. (2025). Industrial metaverse: enabling technologies, open problems, and future trends. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. DOI: 10.1109/comst.2025.3563919.
- Zhao, Z., Zhao, B., Ji, Z., and Liang, Z. (2022). On the personalized learning space in educational metaverse based on heart rate signal. *International Journal of Information and Communication Technology Education (IJICTE)*, 18(2):1–12. DOI: 10.4018/ijicte.314565.