

Realidade virtual, realidade aumentada e mista na educação museal: uma análise cientométrica de tecnologias imersivas

Virtual reality, augmented reality, and mixed reality for museum education: a scientometric analysis of immersive technologie

Jessié Martins Gutierrez¹

Ediane Maria Gheno²

Fabiano Barbosa Carvalho³

Marília Gabriella Alves Goulart Pereira⁴

Andrea Mollica do Amarante Paffaro⁵

Resumo

O objetivo deste estudo foi investigar o impacto das tecnologias imersivas - realidade aumentada, virtual e mista na educação museal, destacando o impacto de autores, documentos e revistas. A análise incluiu 37 documentos indexados na Web of Science entre 2014 e 2024. Observou-se um crescimento anual de 17,46% nas publicações a partir de 2019, evidenciando o aumento de interesse no tema. As redes de colaboração (colaborações científicas) ainda são incipientes no Brasil, sugerindo a necessidade de fortalecer parcerias acadêmicas e ampliar o intercâmbio científico. As publicações analisadas apresentaram uma variação considerável no número de citações, com destaque para as áreas de museologia e tecnologias interativas. As revistas científicas mais influentes refletem uma difusão internacional e sinalizando um potencial das tecnologias imersivas.

Palavras chave: tecnologias imersivas; educação museal; museologia; cientometria.

Abstract

The aim of this study was to investigate the impact of immersive technologies—augmented, virtual, and mixed reality—on museum education, emphasizing the main authors, documents, and journals. The analysis included 37 documents indexed in the Web of Science between 2014 and 2024. An annual growth rate of 17.46% in publications since 2019 was observed, evidencing increased interest in the topic. Collaboration networks (scientific collaboration) in Brazil remain nascent, suggesting the need to strengthen academic partnerships and expand scientific exchange. The analyzed publications showed considerable variation in citation numbers, with particular emphasis on the fields of museology and interactive technologies. The most influential scientific journals reflect international diffusion, and signal the potential of immersive technologies.

Keywords: immersive technologies; museum education; museology; scientometrics.

¹ Universidade Federal de Alfenas | jessiegutierrez@gmail.com

² Universidade Federal do Pará | ghenosediane@gmail.com

³ Universidade Luterana do Brasil | carvalhofb.bio@gmail.com

⁴ Universidade Federal de Alfenas | marilia.pereira@unifal-mg.edu.br

⁵ Universidade Federal de Alfenas | andrea.paffaro@unifal-mg.edu.br

Introdução

As tecnologias imersivas aplicadas à educação museal estão transformando a maneira como o conhecimento é transmitido e como o público interage com o ambiente cultural. Museus e instituições culturais vêm se adaptando a um perfil de visitante que valoriza experiências interativas e personalizadas. Como observado por Jung *et al.* (2016), a adoção de realidade aumentada (RA) e realidade virtual (RV) em contextos museais pode favorecer a retenção do conhecimento e aumentar o engajamento do visitante, criando oportunidades para uma aprendizagem prática e imersiva. A RA, em especial, destaca-se por tornar exposições fixas em experiências dinâmicas, onde o público pode acessar conteúdos adicionais e interagir com objetos de maneira mais aprofundada, enriquecendo o entendimento histórico e científico por meio de recursos multimídia e informações em tempo real (KHAN *et al.*, 2021).

A realidade virtual (RV) e a realidade mista (RM) também têm ampliado as possibilidades de experimentação em museus, permitindo recriações de ambientes históricos e a simulação de espaços que transportam os visitantes para épocas e lugares distantes. Segundo Minucciani *et al.* (2024), o uso de RV em exposições promove uma conexão emocional e cognitiva mais profunda dos visitantes com o conteúdo exposto, o que pode ser especialmente impactante em contextos históricos e científicos complexos (MINUCCIANI *et al.*, 2019). Além disso, a RM, que integra o ambiente real com elementos virtuais, tem se mostrado eficaz em permitir que os visitantes manipulem modelos tridimensionais de objetos culturais ou biológicos, o que facilita uma compreensão mais profunda e lúdica de temas complexos (TRUNFIO, JUNG; CAMPANA, 2022).

Essas tecnologias também trazem desafios que incluem custos elevados, necessidade de infraestrutura avançada e treinamento para o uso adequado das ferramentas, especialmente em instituições de pequeno e médio porte. A adoção dessas tecnologias exige uma equipe técnica capacitada e uma atualização contínua dos conteúdos digitais para assegurar uma experiência de alta qualidade ao visitante (LIU; SUTUNYARAK, 2024). Esses obstáculos podem limitar a implementação ampla dessas tecnologias em museus menores, embora parcerias e financiamento externo tenham sido soluções cada vez mais buscadas para viabilizar esses projetos.

Além do contexto educacional, as tecnologias imersivas têm sido integradas com a gamificação, que utiliza elementos de jogos para incentivar a exploração de conteúdos educacionais. Essa estratégia é especialmente eficaz para engajar o público jovem, que está habituado à interatividade e à dinâmica dos jogos digitais. Estudos recentes sugerem que a gamificação, aliada a tecnologias imersivas, pode aumentar o tempo de permanência dos visitantes e aprofundar o envolvimento com o conteúdo, promovendo uma experiência de aprendizagem mais ativa e engajante (LI *et al.*, 2024).

O principal objetivo deste artigo é fornecer uma visão geral abrangente do desenvolvimento da área educação museal e tecnologias imersivas e sua visibilidade usando os dados cientométricos mais atualizados derivados do banco de dados Web of Science. O foco é analisar as redes de colaboração nacionais entre acadêmicos e universidades, bem como a rede de co-ocorrência de palavras-chave relacionadas. A análise bibliométrica, introduzida pela primeira vez por Pritchard em 1969, foi utilizada por ser uma das abordagens mais eficazes para essa finalidade. As análises bibliométricas e cientométricas foram aplicadas anteriormente para investigar o desenvolvimento e as redes de colaboração

internacional na área da educação (MARTINS *et al.*, 2022) e em vários outros campos acadêmicos (SILVA; OLIVEIRA, 2013).

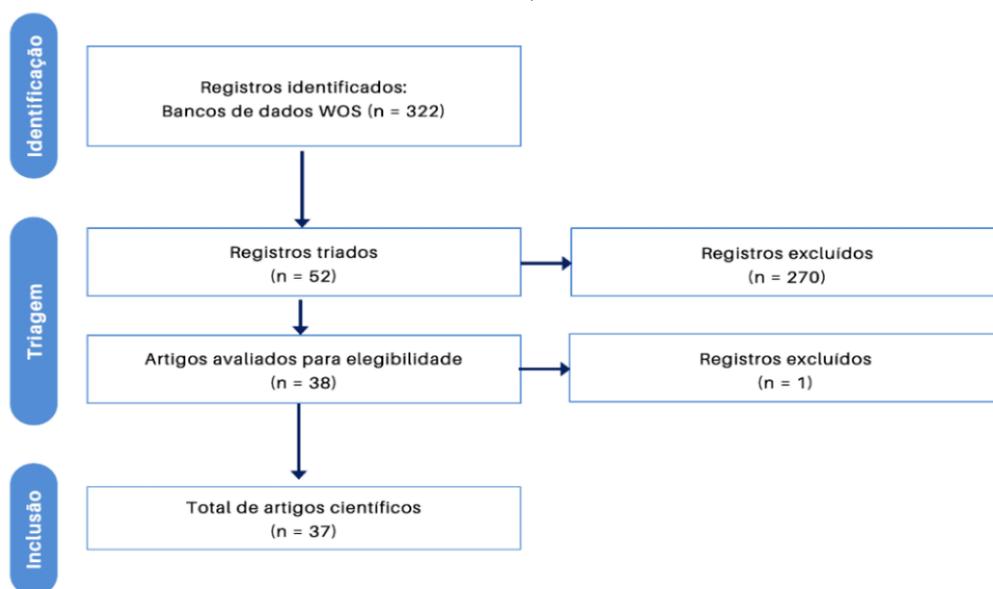
Para atingir nossos objetivos, foi necessário responder às seguintes perguntas: i) Qual tem sido a taxa de crescimento do número de artigos relacionados a educação museal e tecnologias imersivas? ii) Existe redes de colaboração acadêmicas na educação museal e tecnologias imersivas a partir da co-autorias? iii) Quais revistas científicas e instituições de pesquisa publicaram o maior número de artigos? iv) Quais artigos tiveram o impacto mais significativo na comunidade? v) Em quais direções de pesquisa o tema educação museal e tecnologias imersivas tem sido mais frequentemente atualizado, com base na análise de palavras-chave?

Métodos

Pesquisa em Base de Dados

A coleta de dados se deu por meio da base de dados da *Web of Science* (WOS), abrangendo artigos publicados de 2014-2024 (Figura 1). Aplicamos critérios rigorosos de inclusão, além da chave de busca selecionamos apenas artigos que mencionam no título, nas palavras-chave e /ou no resumo os termos: museu, museus, educação museal, educação e tecnologias imersivas como proposta pedagógica em exposições, espaços interativos e instalações artísticas, educacionais e científicas nas línguas portuguesa, espanhola e inglesa e selecionamos artigos com autores e/ou co-autores brasileiros.

Figura 1 - Fluxograma PRISMA do Processo de Seleção de Estudos: Representação visual da identificação de estudos sobre museu, museus, educação museal e tecnologias de imersão, ilustrando as etapas de triagem em bases de dados, verificação de elegibilidade e inclusão final, a busca foi estruturada na WOS. Adaptado de PRISMA2020.



Fonte: elaborado pelos autores.

Removemos as duplicidades utilizando o software *Mendeley Desktop* 1.19.5 (para *MacOS X*, 2024) e, em seguida, utilizando o formato de declaração *PRISMA*, realizamos a

triagem dos artigos e os avaliamos quanto à elegibilidade de acordo com nosso tema. Revisões e metanálises foram excluídas das análises. O conjunto de dados final compreende 37 publicações.

Técnica de Análise: Cientométrica

O conjunto de dados, composto pela contagem de publicações por ano em periódicos com artigos relacionados à educação museal e tecnologias imersivas, juntamente com informações sobre autores e temas, foi salvo nos formatos (.ris) e (.crv). Para a análise de dados, foram utilizados os softwares Microsoft Excel (2021) e VOSViewer (1.6.20). O Microsoft Excel e o Bibliometrix 4.3.0 (aplicação Biblioshiny) foram usados para organizar e analisar os dados de acordo com o ano de publicação, frequência de citações, abordagem metodológica, análise de três campos e métodos de pesquisa aplicados.

A *string* de busca (expressão de busca) usada para extração de dados foi: ((((((((((((((ALL=(museum*)) OR ALL=(museum education))) AND ALL=(Exposition)) OR ALL=(Curation)) OR ALL=(Installation*)) OR ALL=(Exhibit) OR ALL=(Exhibition)) OR ALL=(Interactive exhibit*)) OR ALL=(Virtual exhibition)) OR ALL=(Art installation)) AND ALL=(Virtual reality)) OR ALL=(Augmented reality)) OR ALL=(Immersive space*)) OR ALL=(Immersive technology). Essa expressão de busca permitiu uma busca abrangente em índices relevantes da Web of Science (WOS), assegurando que os dados extraídos estivessem alinhados aos temas centrais da educação museal e tecnologias imersivas.

No VOSViewer e Bibliometrix, a extração de dados foi realizada por meio de mapas de rede para visualizar as relações entre autores, organizações e países, assim como a co-ocorrência de palavras-chave. Usando a base de dados Web of Science (WOS), foram gerados mapas de rede para ilustrar conexões entre autores de alta frequência, organizações colaborativas e suas distribuições geográficas. Além disso, o software facilitou a identificação de palavras-chave co-ocorrentes, destacando tendências e temas significativos no campo da educação museal.

A bibliometria e a cientometria, como técnicas de análises quantitativas, possibilitam avaliar o crescimento e o desenvolvimento da ciência e tecnologia (GHENO *et al.*, 2021), essa abordagem abrangente possibilitou uma análise aprofundada das tendências de desenvolvimento e disseminação na pesquisa sobre educação museal e tecnologias imersivas. A plotagem dos gráficos em barras e em linhas foi realizada pelo software GraphPad Prism versão 8.0.2 (2019).

Resultados

Tendo em vista a sistematização dos resultados, os dados analisados e organizados na Tabela 1, compreendem o período de 2014 a 2024, com um total de 37 documentos, apresentando uma taxa de crescimento anual de 17,46%. A idade média dos documentos é de 2,68 anos, com uma média de 7,297 citações por documento e um total de 1508 referências. Em relação ao conteúdo, foram identificadas 54 Keywords Plus e 159 palavras-chave fornecidas pelos autores.

O conjunto de autores inclui 142 pesquisadores, dos quais apenas 6 publicaram de forma individual. A colaboração entre autores é destacada, com uma média de 3,84

coautores por documento e 37,84% de coautorias internacionais. Quanto aos tipos de documentos, 36 são artigos regulares e 1 foi publicado como "early access".

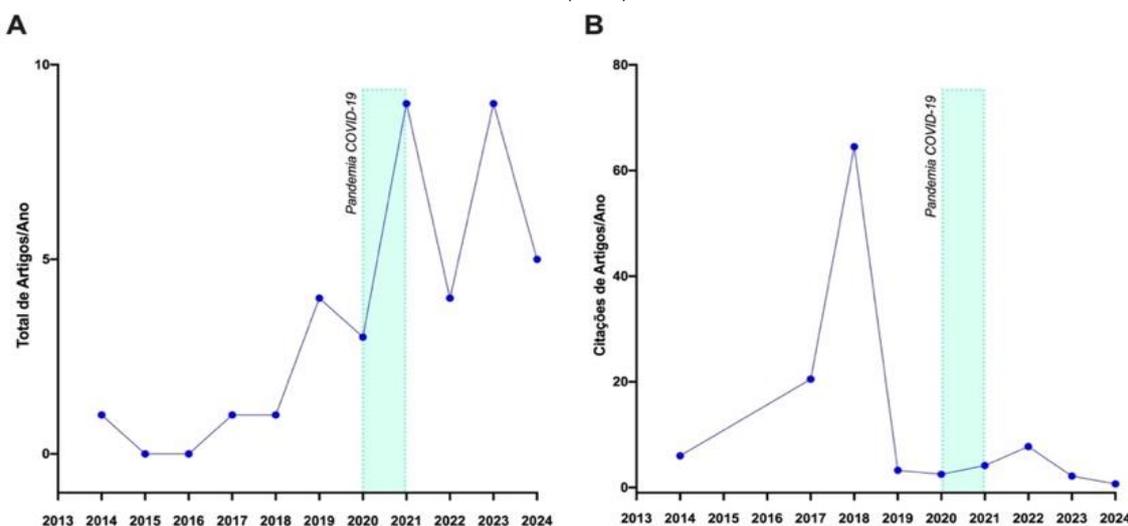
Tabela 1: Principais informações estatísticas da coleção de publicações desde 2004, artigos originais e de revisão relacionados à educação museal e tecnologias imersivas (*Web of Science*).

Descrição	Resultados
PRINCIPAIS INFORMAÇÕES SOBRE OS DADOS	
Período de tempo	2014-2024
Documentos	37
Taxa de crescimento anual %	17,46
Idade média do documento	2,68
Média de citações por documento	7,297
Referências	1508
CONTEÚDO DO DOCUMENTO	
Keywords Plus (ID)	54
Author's Keywords (DE) (Palavras-chave do autor)	159
AUTORES	
Autores	142
Autores de documentos de autoria única	6
COLABORAÇÃO DE AUTORES	
Coautores por documento	3,84
Co-autorias internacionais %	37,84
TIPOS DE DOCUMENTOS	
artigo	36
Artigo (early access)	1

Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 2 apresentamos a análise da produção ao longo do tempo (2014-2024) de publicações encontradas na Web of Science.

Figura 2 - Análise da produção ao longo do tempo (2014-2024) de publicações encontradas na *Web of Science*. ^A Total de publicações por ano, destacando a *ghost bar* (azul) para o início da pandemia de COVID-19. ^B Número de citações das publicações encontradas por ano. A extração dos dados foi pelo software Bibliometrix 4.3 (2024) e plotagem de gráfico no pacote estatístico GraphPad Prism 8.0.2 (2019).



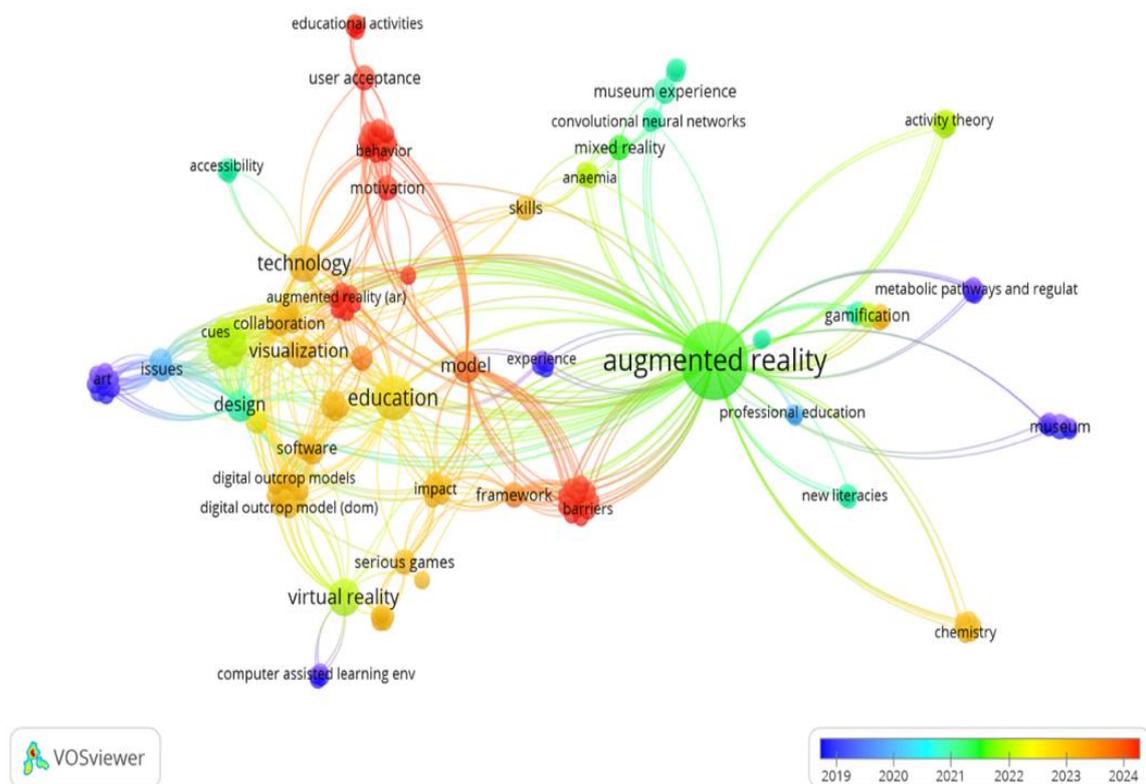
Fonte: elaborado pelos autores.

A **Figura 2A** apresenta a distribuição anual das publicações entre 2014 e 2024, com um aumento significativo a partir de 2019. Em 2020, ano inicial da pandemia de COVID-19, há uma "ghost bar" destacando o impacto potencial dessa crise na produção acadêmica. Após 2020, observa-se um crescimento contínuo, atingindo o pico em 2021 e 2023, ambos com nove publicações. A diminuição em 2024 sugere uma possível estabilização ou ajuste no número de documentos mas destacamos que a lista de publicações tem sua data de coleta em novembro de 2024, o que não representam o ano de 2024 totalmente.

Na **Figura 2B**, o número médio de citações por artigo (*MeanTCperArt*) varia ao longo dos anos. Em 2018, nota-se um pico de citações médias por artigo (122), possivelmente indicando a relevância de estudos específicos publicados nesse ano. Em contraste, 2020, ano da pandemia, apresenta um valor de citações médias igual a zero, o que pode indicar um prejuízo tanto na visibilidade ou no tempo necessário para as publicações ganharem tração em citações.

A **Figura 3** ilustra uma rede de co-ocorrência das 212 palavras-chave mais frequentes nas publicações analisadas, evidenciando as relações e as interconexões entre os termos explorados. Cada nó representa um termo, enquanto a espessura das conexões entre eles reflete a frequência com que esses termos aparecem juntos nos mesmos documentos. O termo central *augmented reality* se destaca com uma forte presença e conexões com outras palavras-chave relevantes, sugerindo que é um tema amplamente discutido e que serve como um ponto de interseção para várias áreas de pesquisa.

Figura 3 A rede de co-ocorrência das 212 palavras-chave mais frequentes. Cada nó representa um termo, e a espessura entre os nós representa a força da relação entre eles, determinada pela frequência com que aparecem juntas nos documentos publicados. Grafo criado no software VOSviewer 1.6.20.



Fonte: elaborado pelos autores.

Em torno de *augmented reality*, encontramos termos relacionadas como *virtual reality*, *gamification*, *visualization*, *technology*, e *education*. Esses termos estão fortemente conectadas, refletindo o interesse em tecnologias imersivas aplicadas ao contexto educacional. *Virtual reality* e *gamification* indicam o uso de ambientes virtuais e elementos de jogos como ferramentas de ensino, enquanto *visualization* e *technology* reforçam o papel de ferramentas tecnológicas para aprimorar a aprendizagem.

Outros termos próximos incluem *collaboration*, *model*, e *design*, que sugerem um foco em metodologias de ensino que promovem o trabalho conjunto e a criação de modelos interativos. *Collaboration*, em particular, mostra a relevância de práticas colaborativas na aplicação de tecnologias educacionais, evidenciando uma tendência de integração de diferentes áreas para enriquecer a experiência educacional.

Além disso, o cluster que contém *user acceptance*, *motivation*, e *behavior* indica uma preocupação com a resposta e a adaptação dos usuários às novas tecnologias. Esses termos sugerem que há um interesse em avaliar como os alunos e educadores aceitam e se motivam com o uso dessas ferramentas no ambiente museal e educacional, o que pode impactar diretamente as atividades dentro dos museus ou mesmo nos locais de educação formal.

Outros termos notáveis, como *museum*, *chemistry*, e *education activities*, apontam para a aplicação de tecnologias imersivas e interativas em contextos mais específicos, como museus e ensino de química. *Museum* e *museum experience* indicam o uso de realidade aumentada e virtual para enriquecer a experiência dos visitantes em museus, enquanto *chemistry* sugere o uso dessas tecnologias em contextos de atividades educativas ou técnicas.

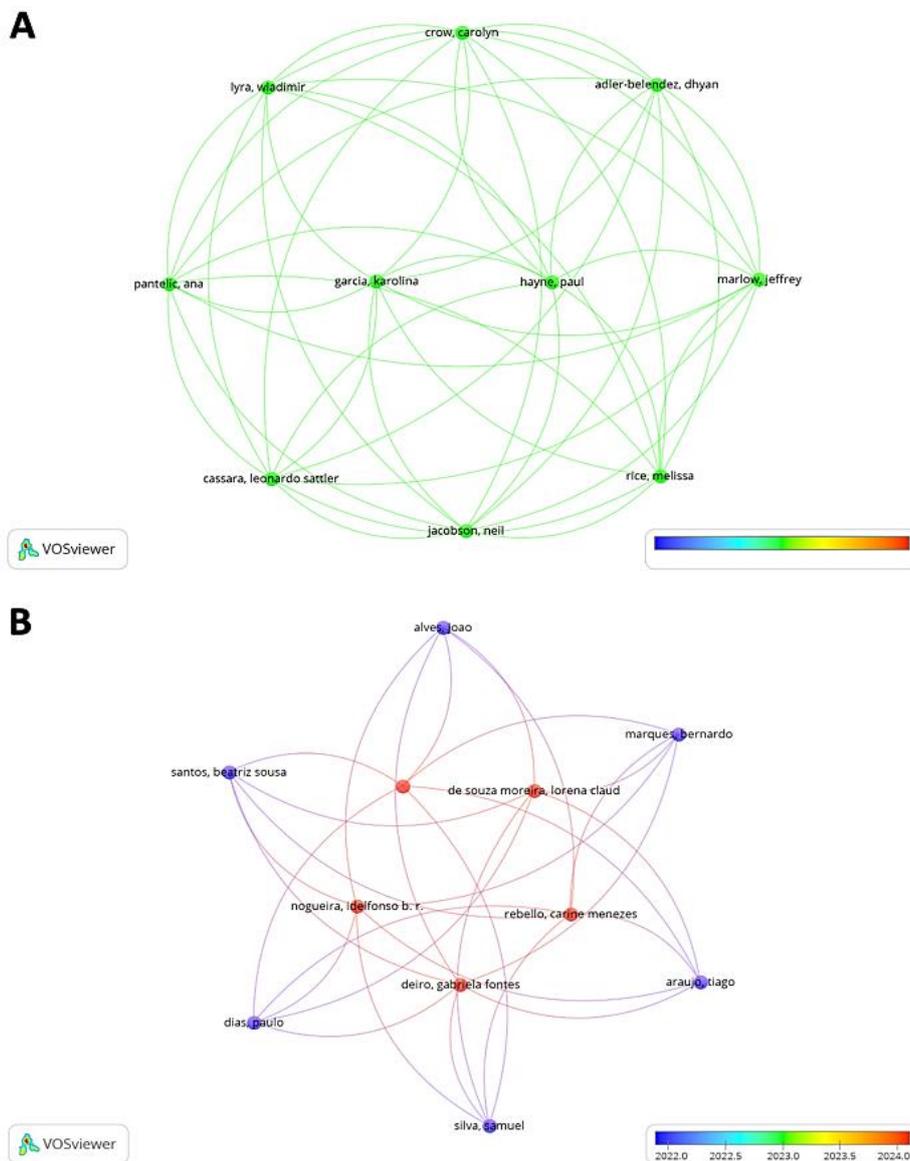
Além disso, termos como *barriers* e *framework* revelam que, além das aplicações práticas, há também uma preocupação com as limitações e a estruturação de abordagens eficazes para a implementação dessas tecnologias. O termo *barriers* destaca os desafios enfrentados para a adoção de novas ferramentas na educação museal, enquanto *framework* sugere a criação de estruturas e metodologias que facilitam o uso de realidade aumentada e tecnologias relacionadas na educação.

A Figura 4 apresenta a rede de colaboração nacional e internacional dos 37 documentos recuperados na WOS, que contou com um total de 149 autorias/coautorias que publicaram artigos sobre educação museal e tecnologias imersivas oriundos do Brasil. Na Figura A, os autores estão organizados em clusters, refletindo parcerias recorrentes entre os pesquisadores, sugerindo temas de interesse compartilhados. Os autores *Adler-Belendez D* e *Cassara L* se destacaram pelo número de documentos, enquanto as conexões entre eles evidenciam uma rede de pesquisa ainda em formação. No entanto, o tema de tecnologias imersivas aplicadas à educação museal ainda está em uma fase inicial no Brasil, com um volume relativamente baixo de produção científica e poucos pesquisadores altamente especializados e redes fortes. Essa limitação se reflete na rede de colaboração, que apresenta uma estrutura fragmentada, com grupos de colaboração isolados e poucos pontos de interconexão entre eles.

Na Figura 4B, que analisa o impacto das publicações por meio do número de citações, alguns autores colaboradores como *Marques B*, *Araujo T*, e *Dias P*, se destacam, indicado pela quantidade de citações que receberam. No entanto, a rede de citações também apresenta algumas fragilidades. A desigualdade no impacto das publicações e a presença de autores brasileiros com baixa visibilidade refletem a fase inicial desse campo de estudo

no Brasil. Apenas alguns autores têm conseguido alcançar maior reconhecimento a partir de colaborações internacionais, enquanto outros permanecem com visibilidade limitada, o que pode dificultar a consolidação de uma rede de colaboração mais equitativa e diversificada neste momento de análise, em 2024.

Figura 4 - Rede de colaboração nacional e internacional dos 149 pesquisadores que publicaram artigos relacionados à educação museal e as tecnologias imersivas no Brasil, com base no número de publicações/autor (painel superior, A) e no número de citações/autor (painel inferior, B). Cada nó representa um acadêmico. O tamanho dos nós é proporcional ao número de publicações e citações, enquanto a espessura das linhas entre os nós é proporcional à força da colaboração entre os pesquisadores.

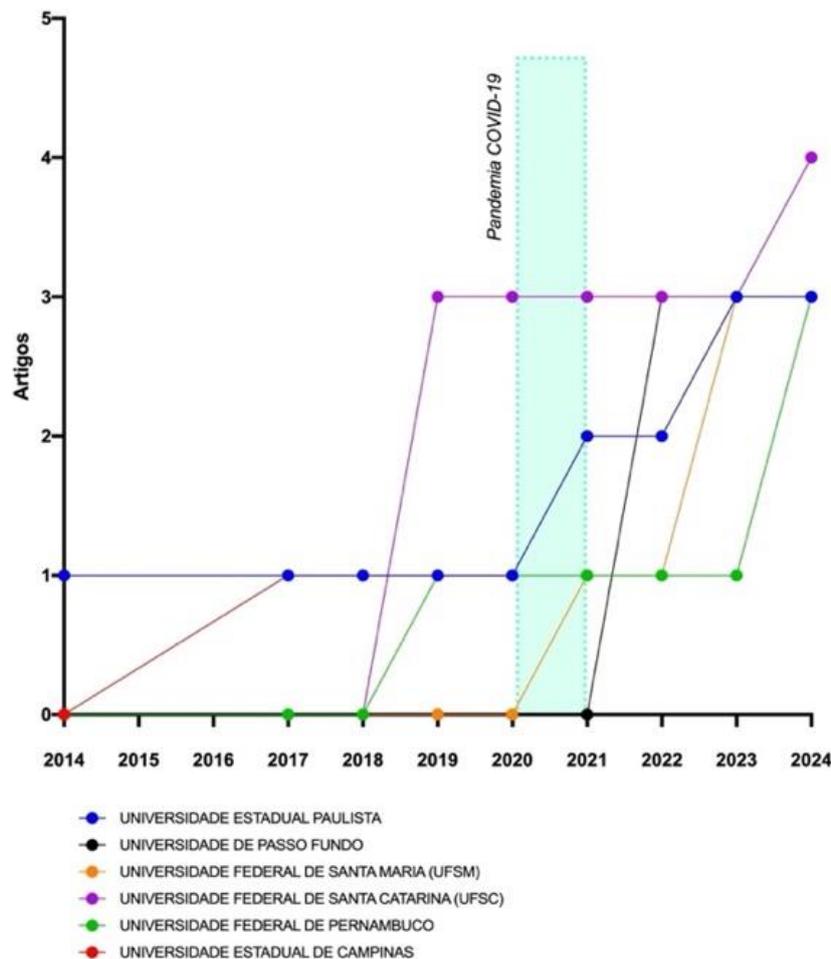


Fonte: elaborado pelos autores.

A **Figura 5** apresenta a evolução temporal das publicações relacionadas à educação museal e tecnologias imersivas nas principais universidades brasileiras, entre 2014 e 2024. A *Universidade Estadual Paulista* e a *Universidade Estadual de Campinas* lideram o início da produção com publicações desde 2014. Em 2019, a *Universidade Federal de*

Pernambuco e a Universidade Federal de Santa Catarina começaram a contribuir de modo mais consistente, aumentando a colaboração e o volume de publicações no campo. Em 2023, observa-se um crescimento mais uniforme entre as universidades, com a *Universidade de Passo Fundo* e a *Universidade Federal de Santa Maria* também ampliando suas contribuições. Em 2024, todas as instituições listadas apresentam ao menos três publicações, refletindo uma expansão moderada da pesquisa na área.

Figura 5 - As principais instituições que mais publicaram artigos sobre o tema incluem universidades brasileiras e estrangeiras. A produção das instituições foi analisada de 2014 até 2024.



Fonte: elaborado pelos autores.

A **Tabela 2** apresenta a lista dos 10 artigos mais citados sobre tecnologias imersivas e educação museal, organizadas por autor, título do documento, DOI, total de citações e ano de publicação. Os resultados destacam a variação no impacto das publicações com base no número de citações, indicando o reconhecimento e a relevância de cada trabalho no campo. Os artigos mais recentes, de *Silva M* com *Cavalcante P* (2024), e *Campos SPS* (2023), ainda não acumularam citações, refletindo sua novidade no campo e o tempo necessário para serem citados. Por outro lado, o artigo de *Marques B* de 2022, "A conceptual model and taxonomy for collaborative augmented reality," se destaca com 49 citações, o que reflete sua contribuição e impactando na área.

Tabela 2: Lista dos dez artigos mais citados

Autores/ Co-autores	Títulos dos documentos	DOI	Total Citações	Ano
SILVA, M	Development of design principles for ar authoring tools for education based on teacher's perspectives	10.1109/TLT.2023.3327592	0	2024
ROSSETO, AGM	An analysis of the use of augmented reality and virtual reality as educational resources	10.1002/cae.22671	3	2023
CAMPOS, SPS	Nature through augmented reality: actions that transcend formal education	10.22409/GEOgr aphia2023.v25i5 5.a57823	0	2023
BOTTINO, A	Leveraging a collaborative augmented reality serious game to promote sustainability awareness, commitment and adaptive problem-management	10.1016/j.ijhcs.20 22.102984	6	2023
MARQUES, B	A conceptual model and taxonomy for collaborative augmented reality	10.1109/TVCG.20 21.3101545	49	2022
BIANCHI, I	Anemia ar: a serious game to support teaching of haematology	10.1080/1745305 4.2021.2021798	1	2022
BARWALDT, R	Innovative pedagogical practices and immersive digital technologies in early childhood education	10.12957/periferi a.2021.63513	0	2021
CAPELLINI, SA	Virtual and augmented reality for the cultural accessibility of people with autism spectrum disorders: a pilot study	10.18848/1835- 2014/CGP/v14i01 /95-106	12	2021
ABAR, CAAP	Initial and continuing training of mathematics teachers in the context of augmented reality	NA	0	2021
ALMOGREN, AS	Using augmented reality and deep learning to enhance taxila museum experience	10.1007/s11554- 020-01038-y	27	2021
CASSARA, LS	Ad astra academy: using space exploration to promote student learning and motivation in the city of god, rio de janeiro, brazil	NA	0	2020
ALFARO, L	Knowledge construction by immersion in virtual reality environments	NA	0	2019
BARTHET, M	Internet of musical things: visit and challenges	10.1109/ACCESS. 2018.2872625	122	2018

Fonte: elaborado pelos autores.

Publicações mais antigas, como "Internet of musical things: visit and challenges" de *Barthet M* (2018), lideram em 122 citações, refletindo o papel importante deste trabalho na integração de realidade aumentada e aspectos de interatividade em ambientes culturais. Outro trabalho de alto impacto é "Using augmented reality and deep learning to enhance

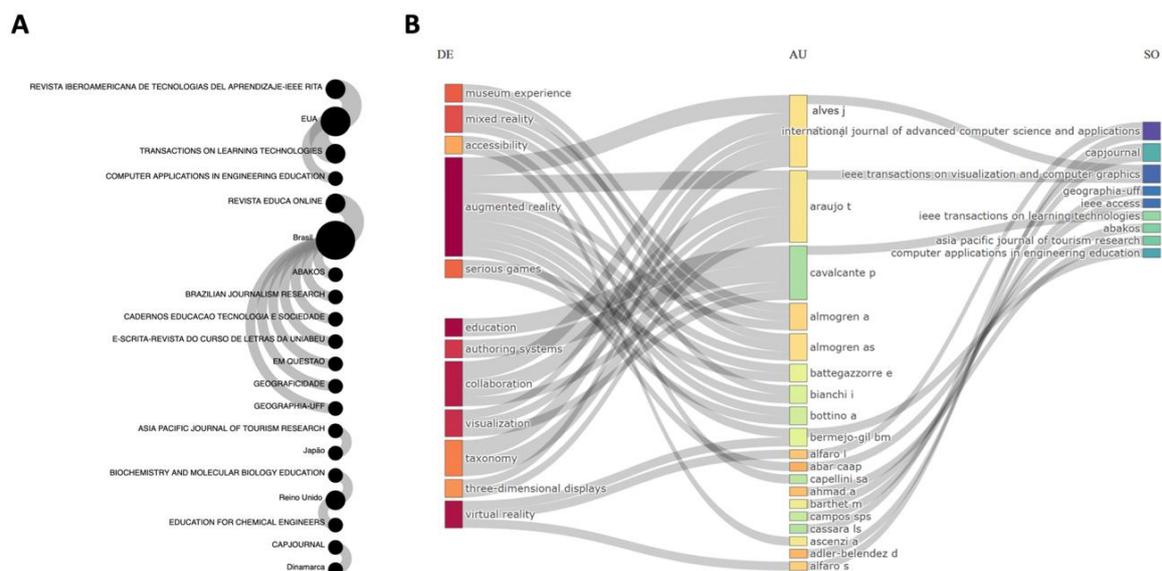
taxila museum experience" de *Almogren AS* (2021), com 27 citações, enfatizando a relevância do uso de tecnologias de aprendizado profundo e realidade aumentada para melhorar a experiência em museus.

Alguns estudos abordam temas específicos, como "Anemia AR: a serious game to support teaching of haematology" de *Bianchi I* (2022), que explora a aplicação de jogos para o ensino de hematologia, e "Leveraging a collaborative augmented reality serious game to promote sustainability awareness" de *Bottino A* (2023), com 6 citações, que se concentra no uso de jogos de realidade aumentada para promover a sustentabilidade.

A **Figura 6** apresenta uma análise das publicações sobre educação museal e tecnologias imersivas na coleção de publicações da *Web of Sciences*, focando nas colaborações de autores que publicaram artigos oriundos do Brasil. Na Figura 6A, um diagrama de arco mostra as quinze revistas científicas mais influentes para as publicações sobre o tema. Cada círculo representa uma revista, e o tamanho dos círculos é proporcional ao número de publicações de autores brasileiros que colaboraram em artigos.

Entre as revistas, destacam-se publicações dos autores nos Estados Unidos, como a *REVISTA IBEROAMERICANA DE TECNOLOGIAS DEL APRENDIZAJE-IEEE RITA* e *TRANSACTIONS ON LEARNING TECHNOLOGIES*, ambas com duas publicações. A predominância de revistas brasileiras, como *REVISTA EDUCA ONLINE*, *ABAKOS*, e *GEOGRAPHIA-UFF*, evidencia o interesse local dos autores em publicar seus trabalhos sobre tecnologias imersivas e à educação museal. A presença de revistas de outros países, como Japão, Reino Unido e Dinamarca, reflete o interesse dos pesquisadores e internacionalizar seus achados.

Figura 6 – Representa as quinze revistas científicas mais relevantes na área da coleção de publicações desde 2014 (Painel A) e o Gráfico de três campos mostrando a relação das publicações encontradas na *Web of Science* sobre educação museal e tecnologias imersivas no Brasil, cobrindo um período de 16 anos (2008-2024). ^A Diagrama de arco mostrando a relações entre as revistas científicas, países de origem dos periódicos e espessura das cordas ou *size* (numero de publicações). ^B Diagrama Aluvial mostrando os fluxos entre as categorias: "Authors Keyword" (Palavras chaves dos autores) versus *Autores versus Periódicos Acadêmico*.



Fonte: elaborado pelos autores.

A Figura 6B apresenta um diagrama aluvial, que visualiza as conexões entre três categorias: *Authors' Keywords* (palavras-chave dos autores), autores e periódicos acadêmicos. As palavras-chave mais comuns, como *augmented reality*, *mixed reality*, *collaboration*, *taxonomy* e *virtual reality*, refletem as principais áreas de interesse dos pesquisadores que colaboram em publicações no Brasil para o período de 2014-2024. Autores como *Marques B*, *Araujo T*, e *Cavalcante P* estão frequentemente associados a essas palavras-chave, indicando sua contribuição significativa dentro da análise para o campo.

Esses fluxos de conexões revelam onde esses temas estão sendo explorados e publicados, com uma rede diversificada de colaborações que se estende a periódicos de diferentes países. Esses dados indicam que o campo de tecnologias imersivas e educação museal, impulsionado por colaborações internacionais com autores no Brasil, está em expansão e possui ainda relevância moderada tanto em revistas nacionais quanto internacionais.

Discussão

A discussão sobre o uso de tecnologias imersivas, como realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e realidade mista (RM), aplicadas à educação museal e ao ensino, é um tema emergente de interesse crescente na pesquisa contemporânea. O aumento de estudos e publicações sobre o tema ao longo da última década reflete avanços tecnológicos e o desejo de explorar formas inovadoras de engajamento e aprendizado. Museus e centros de ciência buscam oferecer experiências que vão além da observação passiva de objetos, promovendo uma participação ativa e interativa (BILLINGHURST; CLARK; LEE, 2015).

A realidade aumentada (RA), em particular, tem se destacado como uma ferramenta para enriquecer o ambiente educacional, permitindo que os usuários interajam com camadas digitais de informações que se sobrepõem ao mundo físico. Em museus, a RA é usada para adicionar contexto a exposições, transformando a interação dos visitantes com os objetos exibidos.

Considerando os resultados encontrados, Silva *et al.* (2024) discutem princípios de design para ferramentas de autoria em RA voltadas para educadores, enfatizando a importância de aspectos pedagógicos na criação de experiências interativas. Isso possibilita que os educadores adaptem as exposições, proporcionando uma experiência mais envolvente e contextualizada.

A realidade virtual (RV) permite uma imersão completa em ambientes virtuais tridimensionais, recriando cenários históricos ou simulando locais remotos – uma abordagem especialmente valiosa em áreas como arqueologia e paleontologia. Ao possibilitar que visitantes explorem realidades que estariam fora de seu alcance físico, a RV amplia o aprendizado, oferecendo uma experiência educativa profundamente envolvente, que transporta os usuários para contextos culturais e históricos de maneira imersiva. Conforme destacado por Rosseto *et al.* (2022), a RV possui ainda um importante potencial inclusivo, ao viabilizar o acesso remoto a exposições para visitantes com dificuldades de mobilidade, promovendo uma integração significativa e ampliando as oportunidades de participação para todos.

A combinação de RA e RV em realidade mista (RM) expande as possibilidades de educação museal, permitindo que objetos virtuais coexistam com o ambiente real. Em

exposições de ciência e tecnologia, os visitantes podem manipular modelos tridimensionais de células, observando seu funcionamento em ambiente simulado, o que possibilita uma compreensão prática de temas complexos. A lista de autores referências na área traz o estudo de Campos (2023), onde salienta que em exposições históricas, é possível visualizar cidades antigas ou práticas culturais antigas, adicionando uma nova camada de imersão que contribui para uma visão integrada do passado e do presente (CAMPOS, 2023).

Outro estudo relevante nesta análise cientométrica é o trabalho de Marques et al (2022), onde destaca que a gamificação, combinada com tecnologias imersivas, também emerge como uma estratégia eficaz para engajar o público e incentivá-lo a explorar o conteúdo. Por meio de desafios, recompensas e sistemas de pontuação, os visitantes, especialmente os mais jovens, são estimulados a aprender mais sobre as exposições de forma lúdica. Essa abordagem amplia o envolvimento com o conteúdo e torna o processo de aprendizado mais dinâmico e atrativo, criando um ambiente onde o público participa ativamente e retém com mais eficiência o que é apresentado (MARQUES, 2022).

A colaboração interdisciplinar desempenha um papel essencial no desenvolvimento e na aplicação de tecnologias imersivas em ambientes educacionais. A implementação bem-sucedida dessas tecnologias exige a expertise combinada de profissionais de diferentes áreas, como educadores, historiadores, desenvolvedores de software e especialistas em tecnologia. Essa sinergia garante que as tecnologias imersivas atendam não apenas a fins estéticos, mas principalmente a objetivos pedagógicos, tornando-as ferramentas eficazes para o aprendizado. A criação de frameworks e taxonomias para AR e VR orienta a estruturação e categorização das práticas, facilitando a adoção e a adaptação dessas tecnologias em diversas instituições (MARTÍN-GUTIÉRREZ *et al.*, 2015).

A adoção de tecnologias imersivas impõe desafios consideráveis, relacionados a custos, infraestrutura e treinamento de pessoal na educação não formal. Entendemos e definimos que o conceito de espaço de educação não formal em ciências é o local/ambiente (físico ou virtual) potencialmente estruturado para o ato educativo intencional mediado (SANTOS; CUNHA, 2018). Equipamentos de RA e RV exigem investimentos contínuos em suporte técnico e atualizações regulares, o que pode se tornar um entrave especialmente para museus de menor porte, que enfrentam limitações orçamentárias. Nesse contexto, parcerias e financiamento externo emergem como soluções para viabilizar o uso sustentável dessas tecnologias.

Outro aspecto a ser considerado é a necessidade de manter os dispositivos e atualizar constantemente o conteúdo digital, o que demanda recursos adicionais e cria um compromisso prolongado para que as tecnologias imersivas continuem operacionais e efetivamente integradas às atividades expositivas dos museus.

Além disso, a aceitação das novas tecnologias por parte do público e dos educadores ainda é um desafio importante. Uma das questões fundamentais são as ferramentas intuitivas e o treinamento que deve ser adequado para que educadores e museólogos possam incorporar essas tecnologias imersivas no cotidiano educativo dos museus. Os museus que pretendem adotar tecnologias imersivas precisam considerar a formação contínua de seus educadores e guias para que as experiências dos visitantes sejam enriquecedoras e com poucos obstáculos, promovendo assim uma adaptação mais fluida ao novo formato expositivo (BILLINGHURST; CLARK; LEE, 2015).

Estudos recentes têm evidenciado que os museus têm buscado formas de promover inclusão por meio de tecnologias digitais. Um exemplo, são os aplicativos que facilitam a

experiência de pessoas com necessidades especiais, como os desenvolvidos para o Museu Arqueológico de Paestum e Velia, na Itália, que adaptaram o ambiente às necessidades dos visitantes, promovendo acessibilidade e uma experiência mais inclusiva. E o uso do chamado design universal, que é aplicado em casos de inclusão, permite a criação de ambientes que podem atender a um público diversificado, capaz de oferecer agendas visuais, bem como guias de navegação com adaptação de conteúdos usando interação podem servir para eliminar barreiras e transformar a visita (VARRIALE *et al.*, 2023).

A análise das palavras-chave frequentes nas publicações, como *augmented reality*, *virtual reality*, *collaboration* e *mixed reality*, revela o foco em colaboração e aprendizado social. Tecnologias imersivas facilitam o aprendizado colaborativo, incentivando habilidades interpessoais entre os visitantes e promovendo um ambiente onde o conhecimento é construído coletivamente. Essa prática social de aprendizado é especialmente relevante em museus, onde a interação entre visitantes pode enriquecer a experiência educativa e proporcionar diferentes perspectivas sobre o conteúdo apresentado.

A rede de colaboração entre pesquisadores brasileiros e estrangeiros é ainda moderada, mas demonstra que os pesquisadores brasileiros nos últimos três anos (2022, 2023 e 2024) tem aumentado a produção no campo de tecnologias imersivas na educação museal.

De uma forma geral, as colaborações no campo da educação museal no Brasil são importantes, pois permite que museus e centros culturais brasileiros acessem e adaptem as inovações que estão ocorrendo no mundo, e os autores ao se manterem atualizados em relação às tendências e avanços tecnológicos mais recentes, obviamente isso demanda custos e planejamento estratégico e políticas governamentais, poderão proporcionar ao público uma experiência educativa de ponta.

Conclusões

As tecnologias imersivas aplicadas à educação museal estão transformando a maneira como o conhecimento é transmitido e como o público interage com o conteúdo educacional. Apesar dos desafios que ainda precisam ser superados, as oportunidades oferecidas por RA, RV e RM são promissoras. A capacidade de engajar visitantes de maneira interativa e de adaptar essas experiências a diversos públicos aponta para um futuro em que os museus se consolidem como centros de aprendizado.

No Brasil, a produção acadêmica sobre o tema é incipiente, sendo essencial que grupos de pesquisa e museólogos avancem continuamente nas investigações, ampliando as possibilidades de desenvolvimento no país. O fortalecimento de redes de colaboração também é um ponto chave, pois mais museus e instituições educacionais podem beneficiar-se ao adotar essas tecnologias e expandir o acesso ao conhecimento.

Embora desafios técnicos, financeiros e de adaptação persistam, o potencial dessas tecnologias para transformar museus em centros dinâmicos de educação é evidente. A colaboração interdisciplinar e o desenvolvimento estruturado para a implementação de RA e RV na educação museal são passos essenciais para consolidar essas práticas e assegurar que um número crescente de instituições tenha acesso a essas inovações. O futuro da educação museal parece se projetar como um ambiente mais acessível, interativo e capaz de comunicar ciência, arte e o patrimônio cultural de maneira mais envolvente e inclusiva.

Referências

- BILLINGHURST, M.; CLARK, A.; LEE, G. A survey of augmented reality. *Foundations and Trends® in Human-Computer Interaction*, v. 8, n. 2-3, p. 73-272, 2015. DOI: 10.1561/11000000049.
- CAMPOS, S. P. S. Nature through augmented reality: actions that transcend formal education. *Geographia*, v. 25, n. 55, p. 57823, 2023. DOI: 10.22409/GEOgraphia2023.v25i55.a57823.
- GHENO, E. M. *et al.* Formação de recursos humanos e produção científica em Educação em Ciências. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemática*, v. 17, n. 38, p. 191-218, 2021.
- JUNG, T. *et al.* Effects of Virtual Reality and Augmented Reality on Visitor Experiences in Museum. In: *Proceedings of the 3rd International Augmented Reality, Virtual Reality and Computer Graphics Conference*, 2016, p. 85-93. DOI: 10.1007/978-3-319-28231-2_45.
- MARTÍN-GUTIÉRREZ, J. *et al.* Augmented reality to promote collaborative and autonomous learning in higher education. *Computers in Human Behavior*, v. 51, p. 752-761, 2015. DOI: 10.1016/j.chb.2014.11.093.
- KHAN, M. A.; ISRAR, S.; ALMOGREN, S. A. Usando a realidade aumentada e aprendizagem profunda para melhorar a experiência do Taxila Museum. *Journal of Real-Time Image Processing*, v. 18, p. 321-332, 2021. DOI: 10.1007/s11554-020-01038-y.
- LI, Z. *et al.* Gamification of virtual museum curation: a case study of Chinese bronze wares. *Heritage Science*, v. 12, p. 348, 2024. DOI: 10.1186/s40494-024-01464-2.
- LIU, Q.; SUTUNYARAK, C. The Impact of Immersive Technology in Museums on Visitors' Behavioral Intention. *Sustainability*, v. 16, p. 9714, 2024. DOI: 10.3390/su16229714.
- MARQUES, B. *et al.* A Conceptual Model and Taxonomy for Collaborative Augmented Reality. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 28, n. 12, p. 5113-5133, 2022. DOI: 10.1109/TVCG.2022.3175957.
- MARIAPINA, T.; JUNG, T.; CAMPANA, S. Mixed reality experiences in museums: Exploring the impact of functional elements of the devices on visitors' immersive experiences and post-experience behaviours. *Information & Management*, v. 59, n. 8, 2022. DOI: 10.1016/j.im.2022.103698.
- MARTINS, A. C.; SOUZA, J. P.; LOPES, F. S. Análise bibliométrica da produção científica em educação: redes de colaboração e tendências de pesquisa. *Educação em Revista*, v. 38, p. 1-20, 2022.
- MARTINS, R. *et al.* Scientometric analysis of collaboration networks in educational technology research. *Educational Research Review*, v. 35, p. 100374, 2022. DOI: 10.1016/j.edurev.2021.100374.
- MINUCCIANI, V. *et al.* Virtual Reality for Cultural Heritage: emotional involvement and Design for all. *Advances in Human Factors and Ergonomics*, 2024. DOI: 10.54941/ahfe1004786.
- PRITCHARD, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics. *Journal of Documentation*, v. 25, p. 348-349, 1969.

SANTOS, S. C. S.; CUNHA, M. B. da. A pesquisa em espaços de educação não formal em ciências na Região Norte: o caso do Bosque da Ciência. *Amazônia: Revista de Educação em Ciências e Matemáticas*, v. 14, n. 32, p. 160–173, 2018.

SILVA, M. *et al.* Development of Design Principles for AR Authoring Tools for Education Based on Teacher's Perspectives. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 2023, pp. 1-14. DOI: 10.1109/TLT.2023.3327592.

SILVA, T. C.; OLIVEIRA, R. L. Mapeamento cientométrico em áreas acadêmicas: um estudo bibliométrico. *Em Questão*, v. 19, n. 1, p. 95-118, 2013.