

Desenvolvimento de Habilidades Metacognitivas através de Ambientes Imersivos e Gamificação no Metaverso para a Educação *OnLife*

SpatialMannaVerse

Jéfer Benedett Dörr¹, Linnyer Beatrys Ruiz Aylon¹

¹Manna.Team – Universidade Estadual de Maringá (UEM)
Av. Colombo, 5790 - Zona 7, Maringá - PR, 87020-900

{pg54802,lbruiz}@inf.ufi.br

Abstract. *This paper investigates the transformative potential of Metaverses and gamification in education, utilizing platforms such as Unity and Spatial.io to create immersive environments that facilitate the development of metacognitive skills in students. By integrating advanced technologies such as mirror worlds, digital twins, and avatars into gamified educational activities, we provide a more engaging, interactive, and personalized learning experience. By exploring how virtual environments can serve as dynamic settings for the practice and acquisition of metacognitive skills, this paper proposes an innovative educational approach that addresses the needs of contemporary digital society.*

Resumo. *Este trabalho investiga o potencial transformador dos Metaversos e da gamificação na educação, utilizando plataformas como Unity e Spatial.io para criar ambientes imersivos que facilitam o desenvolvimento de habilidades metacognitivas em estudantes. Ao integrar tecnologias avançadas, como mundos espelho, gêmeos digitais e avatares, em atividades educacionais gamificadas, proporcionamos uma aprendizagem mais envolvente, interativa e personalizada. Ao explorar como os ambientes virtuais podem servir como cenários dinâmicos para a prática e aquisição de habilidades metacognitivas, este artigo propõe uma abordagem educacional inovadora que responde às necessidades da sociedade digital contemporânea.*

1. Introdução

Ambientes imersivos e tecnologias como *Spatial.io* e *Unity* têm um enorme potencial para transformar a educação, tornando-a mais envolvente, interativa e personalizada para os alunos. Viabilizar o desenvolvimento e a criação do mundo virtual do Metaverso, pode auxiliar em atividades educativas, bem como proporcionar uma experiência completa de imersão, combinando aprendizado e diversão.

Ambientes imersivos, como Realidade Virtual (VR) e Realidade Aumentada (AR), oferecem experiências de aprendizagem envolventes e interativas, permitindo que os alunos se comprometam com o conteúdo de maneira prática e dinâmica. Essas tecnologias, que fazem parte do ecossistema do Metaverso, têm o potencial de simular ambientes do mundo real, como laboratórios de ciências, locais históricos e até espaços extraterrestres, ampliando as oportunidades de aprendizagem além das

limitações físicas da sala de aula tradicional. Formado por tecnologias disruptivas como *Blockchain*, *Web 3.0*, *Big Data*, Realidade Mista (MR), Gêmeos Digitais (DT), Avatares e Inteligência Artificial (AI), o Metaverso cria ambientes imersivos que facilitam interações inteligentes e oferecem novas possibilidades educacionais. Essa abordagem se alinha ao conceito de educação *OnLife*, integrando o aprendizado às experiências *online* e *offline* dos alunos, promovendo o desenvolvimento de habilidades cognitivas, afetivas e sociais através de experiências personalizadas [Savelyeva e Park 2022, Kye et al. 2021, Dwivedi et al. 2022, Mitra 2023, Han et al. 2022, Choi e Kim 2017].

O Metaverso não é apenas um produto, mas também um processo contínuo, envolvendo a criação de espaços, atividades desafiadoras e experiências imersivas [Felice e Schlemmer 2022]. Esse mundo virtual oferece um vasto universo de possibilidades, construído a partir de modelos digitais que podem se tornar vetores de inteligência coletiva e criação colaborativa [Lévy 2010]. Além disso, o Metaverso pode ser um catalisador para ecologias inteligentes, promovendo a criação e cocriação conectiva, inventiva e transformadora [Felice e Schlemmer 2022].

Assim como nos jogos, as interações no Metaverso são organizadas em torno de atividades, desafios e experiências imersivas que estimulam diversas habilidades cognitivas, comunicativas e sensorio-motoras [Felice e Schlemmer 2022]. Os Metaversos funcionam como ecossistemas interdependentes de tecnologias, permitindo que indivíduos interajam e aprendam em ambientes virtuais por meio de avatares, integrando de forma inovadora o conhecimento à experiência sensorial e perceptiva, utilizando formas de comunicação digital [Felice e Schlemmer 2022].

Este projeto, parte integrante de um estudo de doutorado conduzido pelo Grupo de Pesquisa *Manna Team*, não apenas educa para as habilidades do futuro, mas também visa aumentar o engajamento dos alunos e desenvolver habilidades críticas de pensamento e análise de informações [Lu et al. 2023].

2. Fundamentação Teórica

Definições do Metaverso variam desde sua descrição como um mundo digital acessível por dispositivos como *smartphones* e computadores [Kye et al. 2021], até um ambiente virtual 3D onde atividades cotidianas e econômicas ocorrem por meio de *avatares* que representam pessoas reais [Petrakou 2010]. Criado para melhorar a qualidade de vida, o Metaverso é centrado nos humanos e requer uma experiência imersiva que ofereça entretenimento, socialização, aprendizado e novas experiências para manter os usuários engajados [Yang et al. 2023].

No contexto do Metaverso é crucial explicar algumas das possibilidades de dimensões e simulações, para compreender seu funcionamento. Entre elas, o *MW*, que descreve um mundo digital composto por réplicas tridimensionais de elementos do mundo físico, oferecendo uma experiência imersiva, na qual os usuários podem explorar, interagir e visualizar informações de forma eficiente; Os *DTs* são réplicas virtuais de objetos reais, criados com dados do mundo físico para prever seu comportamento no ambiente virtual e; Os *avatares* são representações digitais dos usuários dentro do Metaverso, permitindo que eles se conectem, interajam e participem de experiências virtuais compartilhadas, contribuindo para uma experiência socialmente conectada e imersiva. O sentimento de presença, ou seja, a sensação de realmente estar presente no ambiente virtual, é um

elemento importante a ser considerado.

A adaptação à transformação digital exige uma mudança profunda no processo educacional, envolve uma visão compartilhada por todos os participantes e esforços conjuntos para garantir o uso eficaz das tecnologias digitais na educação. Essas tecnologias têm o potencial de enriquecer a aprendizagem em diversas áreas, promovendo a alfabetização digital dos alunos para que eles possam não apenas consumir, mas também criar, refletir criticamente e analisar informações. Contudo, para maximizar esses benefícios, é essencial revisar currículos e programas de formação.

Os modelos educacionais estão evoluindo para uma abordagem mais ativa de aprendizagem - os alunos não são apenas receptores passivos de informações, mas participam ativamente do processo de construção do conhecimento. Essa alteração destaca a importância de que os educandos não apenas recebam informações, mas que também tenham condições de se auto avaliarem e, se preciso, buscarem melhores resultados. Esses modelos educacionais adaptáveis permitem que os alunos estudem o material de maneiras diversas e em momentos diferentes, com o suporte adequado, tornando o aprendizado mais flexível e personalizado.

A incorporação da gamificação em atividades escolares permite que os alunos aprendam de forma lúdica e adquiram conhecimento de maneira contínua, mantendo-os motivados e engajados no desenvolvimento de novas habilidades. Quando ambientes virtuais são projetados com elementos de gamificação, as mecânicas de jogos são aplicadas para otimizar o processo de ensino, visando alcançar os melhores resultados possíveis. Essa estratégia integra elementos lúdicos com o objetivo de aumentar o envolvimento e a motivação dos alunos, tornando o aprendizado mais dinâmico e eficaz.

No contexto do Metaverso, o *storytelling*, ou narrativa digital, desempenha um papel fundamental na criação de experiências imersivas e envolventes de aprendizagem. Através do uso de elementos narrativos, como personagens, enredos e cenários, os educadores podem construir histórias cativantes que contextualizam o conteúdo educacional de forma significativa para os alunos. Essas narrativas não apenas despertam o interesse dos alunos, mas também os envolvem emocionalmente na experiência de aprendizagem, facilitando a compreensão e a retenção de conceitos complexos. Além disso, o *storytelling* no Metaverso permite uma maior personalização da aprendizagem, permitindo que os alunos escolham seu próprio caminho narrativo e interajam com o ambiente virtual de maneira única e individualizada. Dessa forma, o *storytelling* emerge como uma poderosa ferramenta pedagógica no Metaverso, capacitando os educadores a criar experiências educacionais mais imersivas, significativas e memoráveis para os alunos.

A abordagem da Educação *OnLife*, que integra experiências de aprendizagem *online* e *offline*, expande os horizontes tradicionais da sala de aula ao incorporar o mundo digital e as interações virtuais dos alunos. Essa metodologia é fundamental para garantir que o ambiente de aprendizagem seja relevante e aplicável aos contextos reais dos estudantes. A aprendizagem é considerada como um processo contínuo ao longo da vida [Resnick 2017], influenciado não apenas pelo ambiente presencial, mas também pelas tecnologias digitais. Neste contexto, os estudantes participam de experiências educacionais que transcendem os limites físicos da escola, integrando

o mundo virtual ao real. Isso implica o uso de recursos digitais, como jogos sérios (*serious games*), para enriquecer o processo de ensino-aprendizagem, enquanto fomenta a colaboração e a conectividade entre alunos e professores de diferentes partes do globo [Ullah et al. 2022, Aldrich 2009, de Sales e e Silva 2020, Miranda et al. 2023]. Os educadores desempenham um papel crucial como facilitadores do aprendizado, orientando os alunos na seleção e uso de recursos digitais, além de estimular o Pensamento Crítico, Científico e Computacional (P3C) e promover a criatividade e a inovação. A Educação *OnLife* almeja a flexibilidade, acessibilidade e personalização do ensino, adaptando-se às necessidades individuais dos alunos. Também prioriza o desenvolvimento de habilidades essenciais para o século XXI, como busca de informações, trabalho colaborativo e resolução de problemas. Ao integrar as potencialidades das tecnologias digitais, proporciona um ambiente educacional mais dinâmico e alinhado às demandas contemporâneas da sociedade [Floridi 2015].

Na plataforma do Metaverso, os alunos podem enfrentar desafios, tarefas ou missões específicas e receber microcredenciais correspondentes que certificam suas realizações e conquistas. Essas microcredenciais podem ser usadas para personalizar a experiência de aprendizagem de cada aluno, permitindo que escolham os caminhos mais adequados aos seus interesses, necessidades e objetivos educacionais. Além disso, as microcredenciais de ensino também enquadram-se como validação de competências digitais dos alunos, incluindo habilidades técnicas relacionadas à navegação *online*, colaboração virtual e criação de conteúdo digital, competências essenciais para uma participação eficaz e responsável no mundo digital. Podem ser vinculadas a desafios ou projetos específicos, promovendo a aprendizagem baseada em problemas e oferecendo aos alunos a oportunidade de aplicar seus conhecimentos em contextos autênticos e significativos. Por exemplo, os alunos podem colaborar em equipes virtuais para resolver problemas do mundo real, compartilhando ideias e trabalhando juntos para alcançar objetivos comuns. Ao completar com sucesso os requisitos para obter uma microcredencial específica, os alunos recebem uma *badge* (recompensa) que simboliza o reconhecimento de suas conquistas, incentivando e recompensando seu progresso e engajamento.

3. Trabalhos Relacionados

Revisões Sistemáticas da Literatura (RSL) de diversos países, como Japão, Coreia do Sul, Estados Unidos, Índia, Portugal e China, apontam tanto os benefícios quanto os desafios do uso do Metaverso na educação [Zhang et al. 2019, Saritas e Topraklikoglu 2022, Gülen et al. 2022, Singh et al. 2022, Wu e Gao 2022, Kaddoura e Al Husseiny 2023, Sá e Serpa 2023]. Embora o Metaverso possa motivar alunos, aumentar o interesse pelo aprendizado e tornar as aulas mais interativas [Talan e Kalinkara 2022, Yue 2022, Hedrick et al. 2022, Khalil et al. 2023], a tecnologia ainda é nova e enfrenta obstáculos como problemas de conectividade, altos custos, preocupações com segurança e privacidade, além de desafios de inclusão e impactos na saúde mental (*cyber-syndrome*) [Park e Kim 2022, Lee e Hwang 2022, Bibri et al. 2022, Bibri e Allam 2022, Smith et al. 2023, Zhong e Zheng 2022].

A pesquisa sobre o uso de ambientes imersivos, como os Metaversos e a VR, no ensino tem mostrado resultados promissores em termos de engajamento e eficácia da aprendizagem. Estudos como o de [Makransky e Mayer 2022] destacam que a imersão

em ambientes multimídia contribui para um modelo cognitivo-afetivo de aprendizagem imersiva, trazendo benefícios significativos para os alunos. O modelo cognitivo-afetivo de aprendizagem imersiva (CAMIL), conforme descrito por [Makransky e Petersen 2021], destaca o aumento do senso de presença e agência dos alunos como vantagens-chave da aprendizagem em ambientes imersivos.

A introdução e o uso da VR no contexto educacional estão se tornando cada vez mais comuns, embora ainda haja a necessidade de mais pesquisas sobre a eficácia de diferentes abordagens de ensino [Zadorozhniuk 2023]. A VR oferece oportunidades únicas para os alunos compreenderem conceitos complexos, explorarem informações e observarem fenômenos difíceis de replicar em sala de aula [Elmqaddem 2019]. Por sua vez, a VR pode ser usada para simular ambientes e permitir que os alunos pratiquem habilidades de forma segura e controlada, sendo particularmente valiosa em áreas como medicina e engenharia, onde condições de risco podem ser simuladas [Kyaw et al. 2019, Cheng et al. 2023].

Estudos como os de [Kuang et al. 2022, Rojas-Sánchez et al. 2023] investigaram a eficácia do uso da VR, tanto isoladamente quanto em conjunto com jogos educacionais, destacando melhorias na compreensão de conceitos complexos e no desenvolvimento de habilidades práticas pesquisadas como as de [Kang et al. 2023] e [Phang et al. 2021] exploraram o potencial da integração de tecnologias de AR e VR em contextos de treinamento e educação específicos, como simulações de incêndio e atividades de *STEAM*, respectivamente. Essas abordagens mostraram resultados promissores em termos de melhoria nos treinamentos, superando limitações práticas e proporcionando experiências de aprendizagem mais realistas e envolventes.

Autores como [Hamilton et al. 2021, Benjy e Thomas 2022, Al Farsi et al. 2022, Kasperuniene e Faiella 2023] também destacam os impactos positivos da VR no ensino, enfatizando o potencial para melhorar o engajamento dos alunos e promover uma aprendizagem mais eficaz em diversas áreas disciplinares. Todas essas pesquisas mostram o crescente reconhecimento da importância e do potencial das tecnologias imersivas na educação, apontando para uma tendência promissora no uso de ambientes virtuais para aprimorar a experiência de aprendizagem dos alunos.

4. Desenvolvimento do Metaverso

Para construir o ambiente de Metaverso, utilizamos a *engine* de jogos *Unity*, associado ao *Spatial Creator Toolkit SDK*, para publicar o projeto diretamente no *Spatial.io*. Esta plataforma oferece um arcabouço robusto para o funcionamento do Metaverso em desenvolvimento. A escolha da *Unity* como ferramenta de desenvolvimento é fundamentada em sua ampla popularidade e versatilidade. Reconhecida como uma das plataformas mais populares para o desenvolvimento de jogos e experiências em realidade virtual. Oferece uma variedade de recursos robustos e uma comunidade ativa de desenvolvedores. Entre suas vantagens, destaca-se a interface amigável e uma ampla gama de ferramentas e recursos para o desenvolvimento de ambientes imersivos. A plataforma suporta gráficos de alta qualidade e efeitos visuais impressionantes, essenciais para criar um ambiente imersivo e realista, facilitando a compreensão e a aprendizagem. Sua flexibilidade e escalabilidade permitem a adaptação e expansão do ambiente conforme necessário, além de incluir diferentes cenários, desafios e elementos

educacionais para atender às necessidades específicas dos alunos em seu processo de aprendizagem.

Além disso, oferece uma plataforma poderosa e versátil para a criação de ambientes educacionais imersivos que não apenas engajam os alunos, mas também melhoram a compreensão e a retenção do conteúdo. Essas escolhas são fundamentais para alcançar nossos objetivos de oferecer uma educação personalizada e interativa, alinhada com as necessidades dos alunos na era digital. Os objetivos estabelecidos para o ambiente virtual 3D incluíram a criação de funcionalidades interativas, como simulações, atividades gamificadas e ambientes colaborativos onde os alunos podem trabalhar em equipe e resolver problemas em atividades pedagógicas planejadas para alinhar-se à BNCC e aos ODSs, garantindo um conteúdo educacional relevante e contextualizado.

Para iniciar o desenvolvimento do Metaverso na *Unity* para o *Spatial.io*, é necessário fazer o *download* da *Unity SDK* com o *Starter Template* do *Spatial.io*. Após baixar e descompactar o arquivo, é preciso importar o projeto inicial fornecido com o *kit* inicial de desenvolvimento na *Unity*. Além disso, é necessário habilitar o módulo chamado *WebGL Build Support* na *Unity*, para gerar os arquivos que funcionarão *online* diretamente pelo navegador de *Internet*. Em seguida, realiza-se a configuração do projeto, nome do mundo, do espaço e qual cena da *Unity* está sendo utilizada e será enviada para o serviço do *Spatial.io*. Por fim, gera-se um *token* único para permitir a publicação dos mundos criados¹.

Um projeto desenvolvido para o *Spatial.io*² oferece uma série de recursos e funcionalidades valiosas. Primeiramente, o projeto é hospedado na plataforma, garantindo sua disponibilidade e acesso a qualquer momento. Além disso, o controle de acessos permite determinar quem pode interagir com o projeto, proporcionando segurança e privacidade. O ambiente criado pode acomodar até 50 usuários simultaneamente, permitindo interações em tempo real entre os participantes. Isso é facilitado por um *chat* por texto e conversa por voz integrados, que promovem a comunicação e colaboração entre os usuários e avatares. Além disso, os participantes têm a capacidade de compartilhar suas *webcams* e telas de computador, possibilitando apresentações de trabalhos ou palestras de forma interativa. É importante ressaltar que o projeto pode ser acessado não apenas por computadores, mas também por dispositivos móveis, através do aplicativo do *Spatial.io*, disponível para *Android*³ e *iOS*⁴. Além disso, a compatibilidade com o óculos *Meta Quest*⁵ oferece uma experiência imersiva em realidade virtual para os usuários.

Para explorar os mundos criados, os usuários podem acessar o *link* fornecido pelo *Spatial.io* ou abrir os seus mundos criados⁶. Dentro do mundo, é possível editar diversos aspectos, como nome, descrição, *tags* e imagem *thumbnail*. O compartilhamento do mundo pode ser personalizado de acordo com as preferências de privacidade do usuário. Nessa ambiência, os usuários têm acesso a uma variedade de opções, incluindo

¹Para mais detalhes sobre o desenvolvimento, a documentação está disponível em <https://docs.spatial.io/>

²<https://www.spatial.io/>

³<https://play.google.com/store/apps/details?id=io.spatial.spatial>

⁴<https://apps.apple.com/br/app/spatial/id1528403747>

⁵<https://www.meta.com/pt-br/experiences/2927141310670477/>

⁶<https://www.spatial.io/mine>

compartilhamento de tela. Também é possível adicionar conteúdos, como modelos 3D, diretamente do *Sketchfab*⁷, e criar portais para conectar diferentes mundos entre si.

No estúdio de configuração de mundos⁸, os desenvolvedores têm a opção de criar *badges*, concedidos como prêmios ao completar desafios dentro do Metaverso. Esses distintivos podem representar conquistas significativas e são registrados no perfil do usuário como uma forma de reconhecimento de suas realizações.

5. Sequência Didática Imersiva com Metaverso

A proposta de uma Sequência Didática (SD) imersiva utilizando o Metaverso busca integrar a tecnologia de forma significativa ao processo educacional, promovendo experiências de aprendizagem envolventes e relevantes para os alunos.

A integração do Metaverso na educação vai além do simples uso da tecnologia; envolve o desenvolvimento de uma SD que oferece um guia estruturado para que os professores implementem atividades imersivas no Metaverso. Essa abordagem visa alinhar os benefícios educacionais dessa tecnologia emergente com os objetivos curriculares e educacionais.

Os objetivos da SD incluem o desenvolvimento de habilidades de pensamento crítico e criativo, o estímulo à colaboração e comunicação entre os alunos, e a exploração de conceitos curriculares em conformidade com a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) e o Currículo de Referência do Centro de Inovação para a Educação Brasileira (CIEB), de maneira interativa e contextualizada. Além disso, promove-se a reflexão sobre o uso ético e responsável da tecnologia.

Através do ciclo de atividades "imaginar, criar, brincar, compartilhar e refletir"[Resnick 1998], os alunos exploram e interagem com os ambientes virtuais, ao mesmo tempo em que refletem sobre suas experiências. O *feedback* afetivo e o diário de aprendizagem proporcionam uma avaliação contínua e permitem ajustes constantes no processo educacional.

A conclusão bem-sucedida da SD pode ser formalmente reconhecida por meio da emissão de uma *badge* de microcredencial, que certifica as habilidades adquiridas pelos alunos no uso do Metaverso nas atividades propostas. A SD desenvolvida está disponível no seguinte *link*⁹.

6. O Mundo Criado no Metaverso - MannaSpatialVerse

O desenvolvimento do ambiente virtual 3D foi guiado pelos princípios da Aprendizagem Significativa (Meaningful Learning Theory - MLT), que enfatiza a conexão entre novos conhecimentos e as experiências prévias dos alunos, promovendo uma compreensão mais profunda e relevante. O mundo virtual desenvolvido nessa ambiência tem como objetivo familiarizar e incentivar o aluno para explorar um ambiente imersivo, e a utilizar recursos tecnológicos disruptivos, que promovam sua cultura digital. Desenvolvido no *Spatial.io*, este ambiente proporciona uma experiência interativa onde os alunos podem explorar temas como Sustentabilidade, Eletrônica, Robótica, AI, P3C e Drones.

⁷ Serviço que hospeda arquivos de modelos 3D, disponível também em: <https://sketchfab.com/>

⁸ <https://www.spatial.io/studio>

⁹ SD MannaVerse: <https://people.ufpr.br/~jefer/doutorado/metaverses/SD-MannaSpatialVerse.pdf>

A atividade busca estimular a curiosidade, promover a aprendizagem colaborativa e proporcionar uma experiência educacional inovadora e envolvente, alinhando-se aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização da Nações Unidas (ONU), especialmente a ODS 4, que visa assegurar uma educação inclusiva, equitativa e de qualidade.

No contexto da BNCC, diferentes aptidões são desenvolvidas com o uso do mundo criado no Metaverso, como P3C, comunicação, trabalho em equipe e cultura digital. Outras habilidades integradas a este mundo virtual, como a criação e simulação de algoritmos (EF04CO03, EF05CO01), o reconhecimento de objetos do mundo real (EF01CO02) e a resolução de problemas com lógica (EF15CO03). Os alunos são incentivados a tomar decisões autônomas, explorar elementos culturais e compreender o impacto das tecnologias na sociedade. Além disso, a atividade promove a conscientização ambiental através da interação com itens como veículos elétricos, geradores eólicos e placas solares, alinhando-se também com habilidades de sustentabilidade e responsabilidade social (CG10).

A integração de tecnologias como drones e realidade virtual facilita a compreensão de conceitos complexos e promove habilidades essenciais para o século XXI, como o trabalho colaborativo (CG04) e a cultura digital (CG05). A criação de um ambiente de aprendizagem seguro e acessível, onde os alunos podem praticar e aplicar conceitos em diferentes cenários, amplia o acesso à educação e torna o aprendizado mais flexível e motivador. A utilização de simulações e gamificação no Metaverso não apenas enriquece a experiência educacional, mas também desenvolve competências sociais e emocionais, preparando os alunos para os desafios contemporâneos. Hábitos saudáveis adquiridos pelo uso de artefatos computacionais (EI03CO11) pode proporcionar o desenvolvimento de habilidades como investigação de novos formatos de leitura da realidade (CD03LD01), uso de *softwares* educacionais e recursos abertos (CD03LD03).

No contexto da CIEB, habilidades de P3C são trabalhadas ao permitir que os alunos compreendam que computadores realizam apenas o que é programado (PC01AB01), utilizem algoritmos com repetições (PC05AL01), e conheçam representações concretas para listas, filas e pilhas (PC05AB01). No Eixo de Cultura Digital, os alunos desenvolvem habilidades de uso seguro e consciente da tecnologia (CD02CD01), experimentação de novos formatos de leitura da realidade (CD03LD01), uso de simuladores educacionais (CD04LD03) e análise das relações entre uso da tecnologia e sustentabilidade (CD06CD01). Os alunos podem, também, explorar diferentes dispositivos de entrada de dados, como teclados, mouses e controles de realidade virtual (TD06RD01), e reconhecer as características e usos das tecnologias computacionais no cotidiano dentro e fora da escola (EF02CO05).

Com recursos como a personalização de *avatars*, exploração do ambiente virtual, interação com tecnologias digitais e desenvolvimento de projetos colaborativos, o Metaverso oferece uma abordagem educacional abrangente e dinâmica. Através da contínua inovação e desenvolvimento, este ambiente virtual se solidifica como uma ferramenta essencial para a educação, promovendo o aprendizado multidisciplinar e o desenvolvimento integral dos alunos.

A Figura 1 apresenta alguns locais do ambiente criado. A Subfigura 1 (a) mostra

uma área dedicada ao contexto dos drones, em que é possível encontrar informações sobre regras básicas para sua operação, dentre elas: Internet dos Drones (IoD); ambiência virtual externa para sua pilotagem; uma SD específica para trabalhar com drones, questionários sobre drones e outras atividades. Na Subfigura 1 (b), são apresentadas as partes de um drone e suas respectivas funções, ao fundo da tela, uma personagem gerada por IA, transmite conteúdos sobre este dispositivo.

Os usos dos drones podem contribuir, de maneira direta ou indireta, para alguns dos ODSs, como: 2 - Fome Zero e Agricultura sustentável; 4 - Educação e Qualidade; 8 - Trabalho Decente e Crescimento Econômico; 9 - Indústria, Inovação e Infraestrutura; 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis; 13 - Ação Contra Mudança Global do Clima.

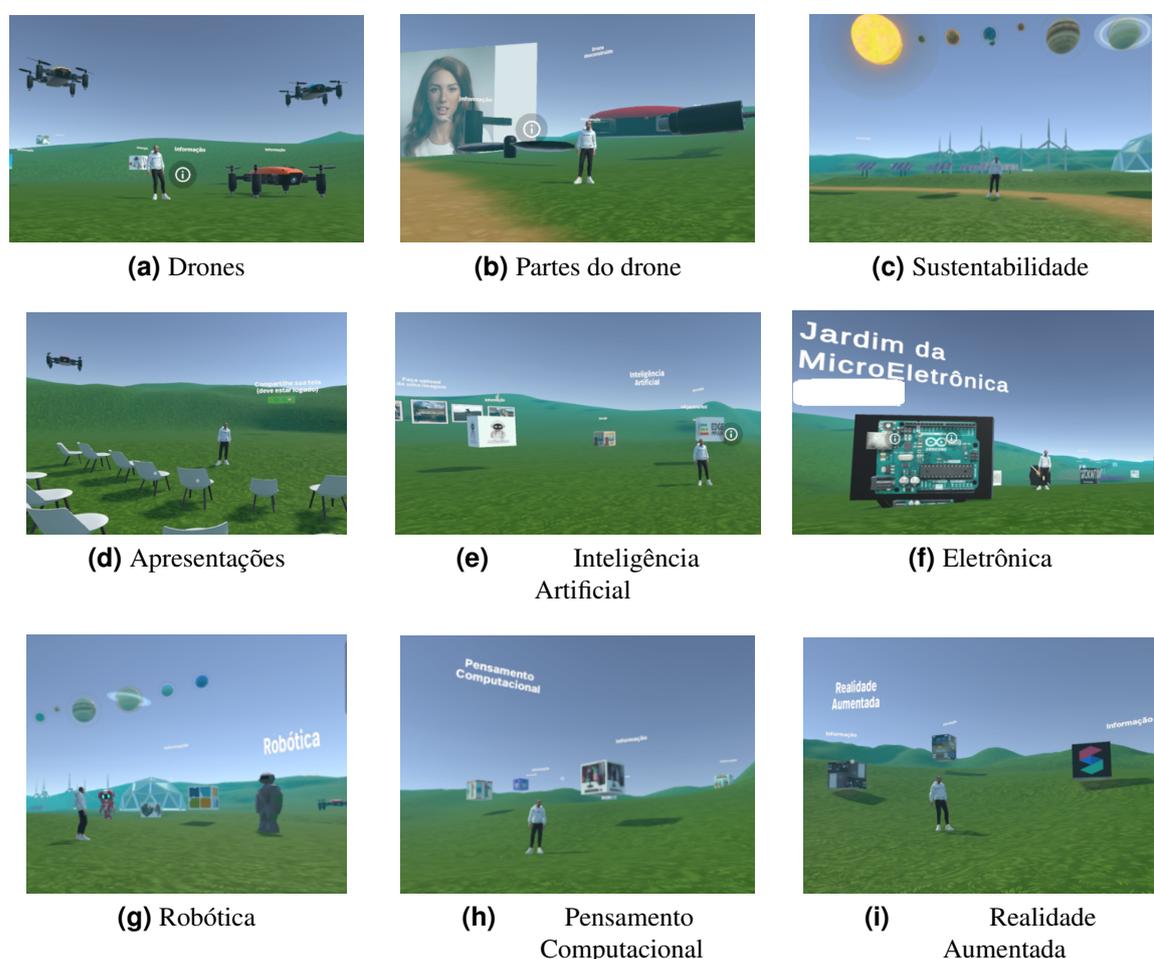


Figura 1. Espaços do MannaSpatialVerse, Metaverso desenvolvido

A Subfigura 1 (c) exibe um espaço dedicado a conteúdo de energia renovável, alinhado ao ODS 7 - Energia Limpa e Acessível. Em todos os casos, o ambiente contribui especialmente para a ODS 4. A Subfigura 1 (d) apresenta um espaço para compartilhamento de tela e reuniões, ideal para apresentações ou atividades que desenvolvam comunicação e liderança. Na Subfigura 1 (e), há um espaço dedicado à IA, com atividades voltadas para crianças.

A Subfigura 1 (f) mostra um jardim de eletrônica, contendo componentes

coletáveis com suas respectivas definições, além de uma atividade para ampliar um circuito, envolvendo programação e eletrônica. A Subfigura 1 (g) exibe o espaço reservado para atividades de robótica, com três atividades: duas SDs de programação com blocos no contexto de robótica e um *slide* de uma atividade.

A Subfigura 1 (h) contempla o P3C, apresentando seis atividades externas. Finalmente, a Subfigura 1 (i) mostra o espaço dedicado à AR, com dois exemplos relacionados a drones: um filtro do *Instagram* com um drone controlável em RA e um drone em RA feito no *Unity*, acompanhado de uma SD sobre o uso do *Meta Spark* para programar filtros, ensinando conceitos de Ciência da Computação de forma lúdica.

O ambiente resultante não só oferece uma plataforma inovadora e envolvente para o aprendizado, mas também está alinhado com as melhores práticas pedagógicas, garantindo uma experiência educacional eficaz e significativa para os alunos.

7. Avaliação

A avaliação da experiência do usuário é essencial para entender a percepção e a usabilidade do sistema. Foram utilizados diversos instrumentos para obter essas informações, como o Questionário de Experiência do Usuário (*UEQ*), que avalia aspectos como eficiência, atratividade, precisão, clareza, estímulo e originalidade; Questionário de Usabilidade do Sistema de Computador (*CSUQ*), que identifica áreas para melhoria nos ambientes de realidade virtual [Schrepp et al. 2017, Rauschenberger et al. 2013, Lewis 2018].

Os questionários utilizam a escala *Likert* para avaliar o nível de concordância com afirmações específicas [Nemoto e Beglar 2014]. A escala *Positive and Negative Affect Schedule (PANAS)*, deve ser empregada para investigar os estados afetivos dos usuários, avaliando aspectos positivos (*Positive Affect - PA*) e negativos (*Negative Affect - NA*) [González Arratia López Fuentes e Valdez Medina 2015]. Bem como aquela que avalia a resposta emocional dos usuários, a escala *Product Emotion Measurement Instrument (PrEmo)*, ao interagirem com o sistema, por intermédio de ilustrações das personagens que expressam diferentes emoções [Desmet 2003].

É essencial avaliar a eficácia dos jogos educacionais e do Metaverso. Métodos e critérios foram estabelecidos para medir o impacto dessas tecnologias na motivação dos alunos, no desempenho acadêmico e na satisfação geral. O Modelo de Aceitação de Tecnologia - *Technology Acceptance Model (TAM)* oferece *insights* sobre a prontidão dos educadores e alunos para adotar essas tecnologias [Magsamen-Conrad et al. 2022]. A avaliação do usuário é crucial para obter *feedback* e melhorar os ambientes de realidade virtual.

A pesquisa de caracterização do usuário¹⁰ coleta informações sobre o indivíduo, experiência com tecnologia, interesses, expectativas, emoções, efeitos positivos e negativos da atividade, experiência do usuário, usabilidade e satisfação.

Foi desenvolvido o "Formulário de Avaliação da Atividade", disponível *online*¹¹, preenchido antes e depois da atividade. Isso permite uma análise abrangente dos benefícios e desafios da implementação da tecnologia imersiva no ambiente escolar,

¹⁰Pesquisa Caracterização de usuários: <https://forms.gle/Yr92RZCeMPWoxBYi8>

¹¹Link Pesquisa Pré e Pós: <https://encurtador.com.br/mDaQs>

coletando dados demográficos e percepções de utilidade, facilidade de uso e expectativa de engajamento.

O *Questionnaire for User Interaction Satisfaction (QUIS)* mede a satisfação dos usuários com a interface e interação do sistema, ajudando a identificar áreas problemáticas e melhorar a usabilidade. O *Software Usability Measurement Inventory (SUMI)* e a *System Usability Scale (SUS)* também são usados para avaliar a usabilidade do *software*.

Os resultados da pesquisa incluem 35 respostas de professores de 27 escolas em 19 cidades de 8 Estados do Brasil, com uma faixa etária variada. Todos os participantes demonstraram curiosidade e entusiasmo em aprender e ensinar com o apoio do Metaverso.

Durante as atividades nesse mundo virtual, a maioria dos professores (82,8%) relatou sentir-se "Alegre" e 65,5% também se sentiram "Alegre" em relação à compreensão das atividades educacionais. Na escala PANAS, emoções positivas foram destacadas, com altos percentuais em categorias como Ativo (44,8%), Determinado (51,7%) e Interessado (58,6%). Em relação às emoções negativas, a maioria relatou sentir-se "Pouco ou Nada" em categorias como Amedrontado (41,4%), Trêmulo (62,1%) e Nervoso (55,2%).

Em termos de bem-estar subjetivo, 75,9% dos participantes sentiram-se "familiarizados com o cenário de realidade virtual do simulador", e todos (100%) relataram sentir-se "felizes ou satisfeitos" após participar das atividades. A participação no Metaverso teve um impacto positivo no humor ou bem-estar de 82,8% dos participantes.

Os questionários UEQ, CSUQ e QUIS destacaram aspectos como Atratividade (89,7%), Inovação (72,4%) e Estímulo (65,5%). No QUIS, 52,2% dos participantes consideraram a navegação no Metaverso intuitiva. Na SUS, a maioria dos participantes achou o sistema fácil de usar (34,8%) e bem integrado (34,8%). A pesquisa demonstrou uma receptividade positiva e uma experiência satisfatória dos professores com o uso do Metaverso como ferramenta educacional, sugerindo benefícios no engajamento dos alunos e no desenvolvimento de habilidades socioemocionais.

8. Discussão: Desafios e Considerações

A integração de jogos, gamificação e o Metaverso na educação apresenta desafios significativos, como a necessidade de criar conteúdo educacional de qualidade, que exige habilidades técnicas e criativas específicas [Li et al. 2022]. O desenvolvimento para o Metaverso é mais complexo que em ambientes tradicionais, demandando ferramentas especializadas e conhecimentos em design de jogos e narrativa digital [Pimentel et al. 2022, Ning et al. 2023].

Avaliar a eficácia dessas tecnologias é crucial, e o TAM pode ajudar a medir a prontidão de educadores e alunos para adotá-las, embora precise ser adaptado ao contexto educacional [Magsamen-Conrad et al. 2022]. Acessibilidade e equidade no acesso ao Metaverso também são preocupações, já que nem todos os alunos têm acesso a dispositivos adequados ou conexões estáveis de internet [Campos et al. 2022].

Apesar desses desafios, o Metaverso oferece benefícios substanciais. Ele pode desenvolver habilidades motoras, percepção espacial, *soft skills* e facilitar a compreensão de conceitos complexos, como os ODSs. A emissão de *badges* para microcredenciais pode incentivar a progressão contínua dos alunos [Li et al. 2022].

Embora o Metaverso não substitua os métodos tradicionais, ele os complementa, proporcionando experiências de aprendizagem personalizadas e gamificadas que aumentam o engajamento dos alunos [Campos et al. 2022]. No entanto, questões éticas e culturais, como privacidade, saúde mental e o risco de controle excessivo por poucas empresas, devem ser cuidadosamente consideradas [Park e Kim 2022, Lee e Hwang 2022, Bibri et al. 2022, Tlili et al. 2022].

O Metaverso também pode contribuir para um futuro mais sustentável na educação, reduzindo a necessidade de infraestrutura física e viagens, e criando ambientes de aprendizagem mais envolventes e interativos [Sachs et al. 2019, Zhang et al. 2022].

9. Conclusões e Trabalhos Futuros

A evolução dos modelos educacionais em direção a um aprendizado ativo destaca a importância do Metaverso como recurso tecnológico. Com potencial significativo, o Metaverso facilita o desenvolvimento de habilidades interdisciplinares e competências de comunicação, mantendo o interesse e o engajamento dos alunos. Ambientes imersivos, especialmente desenvolvidos com tecnologias como *Unity* e *Spatial.io*, expandem as possibilidades educacionais ao integrar gamificação e jogos sérios, criando experiências de aprendizagem envolventes, personalizadas e interativas.

Para a adoção eficaz dessas tecnologias, é crucial preparar e qualificar os educadores. Embora o futuro da educação seja incerto, a tecnologia, especialmente o Metaverso, moldará significativamente os métodos de ensino e aprendizagem, proporcionando uma experiência mais dinâmica para os alunos. Pesquisas mostram uma receptividade positiva dos professores ao uso do Metaverso, com a maioria relatando sentimentos positivos e compreensão das atividades educacionais. Sendo essencial reconhecer que os desafios ainda precisam ser superados na implementação do Metaverso na educação, ao mesmo tempo em que se destacam as oportunidades que ele oferece. Isso pode incluir desafios técnicos, como a necessidade de *hardware* adequado, e pedagógicos, como a formação de professores para utilizar essas tecnologias de forma eficaz.

Trabalhos futuros devem investigar o impacto do uso do Metaverso em modelos educacionais, incorporando novos elementos e funcionalidades. Explorar novas metodologias para integrar o Metaverso com os ODS pode expandir ainda mais seu impacto positivo na educação. A contínua inovação e desenvolvimento solidificarão o Metaverso como uma ferramenta essencial para a educação do futuro.

AGRADECIMENTO

Este trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná (FA), da *Softex* Nacional, do Núcleo *Softex* Campinas (NSC) e do Manna_Team.

Referências

Al Farsi, G., Yusof, A. b. M., Tawafak, R., Iqbal, S. M., Alsideiri, A., Mathew, R., e AlSinani, M. (2022). The general view of virtual reality technology in the education

- sector. In *International Joint Conference on Advances in Computational Intelligence*, pages 295–303. Springer.
- Aldrich, C. (2009). *The Complete Guide to Simulations and Serious Games: How the Most Valuable Content Will be Created in the Age Beyond Gutenberg to Google*. Pfeiffer & Company, 1st edition.
- Benjy, M. e Thomas, J. (2022). Adoption of virtual reality technology in higher education: An evaluation of five teaching semesters in a purpose-designed laboratory. *Education and information technologies*, 27(1):1287–1305.
- Bibri, S. E. e Allam, Z. (2022). The metaverse as a virtual form of data-driven smart urbanism: On post-pandemic governance through the prism of the logic of surveillance capitalism. *MDPI: Smart Cities*, 5(4):715–727.
- Bibri, S. E., Allam, Z., e Krogstie, J. (2022). The metaverse as a virtual form of data-driven smart urbanism: Platformization and its underlying processes, institutional dimensions, and disruptive impacts. *Computational Urban Science*, 2(1):24.
- Campos, E., Hidrogo, I., e Zavala, G. (2022). Impact of virtual reality use on the teaching and learning of vectors. In *Frontiers in Education*, volume 7, page 702. Frontiers.
- Cheng, J.-Y., Gheisari, M., e Jeelani, I. (2023). Using 360-degree virtual reality technology for training construction workers about safety challenges of drones. *Journal of computing in civil engineering*, 37(4):04023018.
- Choi, H.-S. e Kim, S.-H. (2017). A content service deployment plan for metaverse museum exhibitions—centering on the combination of beacons and hmds. *International Journal of Information Management*, 37:1519–1527.
- de Sales, A. B. e e Silva, M. S. (2020). Jogos sérios no processo de ensino e aprendizagem de interação humano-computador. In *Anais do XXXI Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, pages 552–561, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Desmet, P. (2003). Measuring emotion: Development and application of an instrument to measure emotional responses to products. In *Funology: From usability to enjoyment*, pages 111–123. Springer.
- 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.
- Elmqaddem, N. (2019). Augmented reality and virtual reality in education. myth or reality? *International journal of emerging technologies in learning*, 14(3).
- Felice, M. D. e Schlemmer, E. (2022). As ecologias dos metaversos e formas comunicativas do habitar, uma oportunidade para repensar a educação. *Revista e-Curriculum*, 20(4):1799–1825.
- Floridi, L. (2015). *The onlife manifesto: Being human in a hyperconnected era*. Springer Nature.

- González Arratia López Fuentes, N. I. e Valdez Medina, J. L. (2015). Validez de las escalas de afecto positivo y negativo (panas) en niños. *Liberabit*, 21(1):37–47.
- Gülen, S., Dönmez, İ., e Şahin, İ. (2022). Stem education in metaverse environment: Challenges and opportunities. *Journal of STEAM Education*, 5(2):100–103.
- Hamilton, D., McKechnie, J., Edgerton, E., e Wilson, C. (2021). Immersive virtual reality as a pedagogical tool in education: a systematic literature review of quantitative learning outcomes and experimental design. *Journal of Computers in Education*, 8(1):1–32.
- Han, D., Bergs, Y., e Moorhouse, N. (2022). Virtual reality consumer experience escapes: Preparing for the metaverse. *Virtual Reality*, in press:1443–1458.
- Hedrick, E., Harper, M., Oliver, E., e Hatch, D. (2022). Teaching & learning in virtual reality: Metaverse classroom exploration. In *2022 Intermountain Engineering, Technology and Computing (IETC)*, pages 1–5. IEEE.
- Kaddoura, S. e Al Husseiny, F. (2023). The rising trend of metaverse in education: Challenges, opportunities, and ethical considerations. *PeerJ Computer Science*, 9:e1252.
- Kang, H., Yang, J., Ko, B.-S., Kim, B.-S., Song, O.-Y., e Choi, S.-M. (2023). Integrated augmented and virtual reality technologies for realistic fire drill training. *IEEE computer graphics and applications*.
- Kasperuniene, J. e Faiella, F. (2023). Bibliometric analysis of virtual reality in school and university contexts. In *World Conference on Qualitative Research*, pages 72–92. Springer.
- Khalil, A., Haqdad, A., e Sultana, N. (2023). Educational metaverse for teaching and learning in higher education of pakistan. *Journal of Positive School Psychology*, pages 1183–1198.
- Kuang, Y., Yang, S., e Jiang, J. (2022). The research on the challenges confronted by the combination of virtual reality technology and educational games. In *International Conference on Computer Science and Education*, pages 29–41. Springer.
- Kyaw, B. M., Saxena, N., Posadzki, P., Vseteckova, J., Nikolaou, C. K., George, P. P., Divakar, U., Masiello, I., Kononowicz, A. A., Zary, N., et al. (2019). Virtual reality for health professions education: systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration. *Journal of medical Internet research*, 21(1):e12959.
- Kye, B., Han, N., Kim, E., Park, Y., e Jo, S. (2021). Educational applications of metaverse: possibilities and limitations. *Journal of educational evaluation for health professions*, 18.
- Lee, H. J. e Hwang, Y. (2022). Technology-enhanced education through vr-making and metaverse-linking to foster teacher readiness and sustainable learning. *Sustainability*, 14(11):4786.
- Lévy, P. (2010). *Cibercultura*. Editora 34.
- Lewis, J. R. (2018). Measuring perceived usability: The csuq, sus, and umux. *International Journal of Human–Computer Interaction*, 34(12):1148–1156.

- Li, Y., Wei, W., e Xu, J. (2022). The exploration on ethical problems of educational metaverse. In *Metaverse–METAVERSE 2022: 18th International Conference, Held as Part of the Services Conference Federation, SCF 2022, Honolulu, HI, USA, December 10–14, 2022, Proceedings*, pages 29–38. Springer.
- Lu, J., Dawod, A. Y., e Ying, F. (2023). From traditional to digital: The impact of drones and virtual reality technologies on educational models in the post-epidemic era. *Sustainable Engineering and Innovation*, 5(2):261–280.
- Magsamen-Conrad, K., Verhoff, C. B., e Dillon, J. M. (2022). Technology acceptance models. *The International Encyclopedia of Health Communication*, pages 1–8.
- Makransky, G. e Mayer, R. E. (2022). Benefits of taking a virtual field trip in immersive virtual reality: Evidence for the immersion principle in multimedia learning. *Educational Psychology Review*, 34(3):1771–1798.
- Makransky, G. e Petersen, G. B. (2021). The cognitive affective model of immersive learning (camil): A theoretical research-based model of learning in immersive virtual reality. *Educational Psychology Review*, 33(3):937–958.
- Miranda, M., Nascimento, M., Oliveira, G., Pereira, J., e Ishitani, L. (2023). Avaliação de conhecimento em jogos sérios: Uma revisão sistemática de literatura. In *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*, pages 513–525, Porto Alegre, RS, Brasil. SBC.
- Mitra, S. (2023). Metaverse: A potential virtual-physical ecosystem for innovative blended education and training. *Journal of Metaverse*, 3(1):66–72.
- Nemoto, T. e Beglar, D. (2014). Likert-scale questionnaires. In *JALT 2013 conference proceedings*, pages 1–8.
- Ning, H., Wang, H., Lin, Y., Wang, W., Dhelim, S., Farha, F., Ding, J., e Daneshmand, M. (2023). A survey on the metaverse: The state-of-the-art, technologies, applications, and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*.
- Park, S. e Kim, S. (2022). Identifying world types to deliver gameful experiences for sustainable learning in the metaverse. *Sustainability*, 14(4):1361.
- Petrakou, A. (2010). Interacting through avatars: Virtual worlds as a context for online education. *Computers & Education*, 54:1020–1027.
- Phang, F. A., Puspanathan, J., Nawi, N. D., Zulkifli, N. A., Zulkapri, I., Harun, F. K. C., Khang, A. W. Y., Alsayaydeh, J. A. J., e Sek, T. K. (2021). Integrating drone technology in service learning for engineering students. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 16(15):78–90.
- Pimentel, D., Fauville, G., Frazier, K., McGivney, E., Rosas, S., e Woolsey, E. (2022). An introduction to learning in the metaverse. <https://scholar.harvard.edu/files/mcgivney/files/introductionlearningmetaverse-april2022-meridianreehouse.pdf>. Acessado em: 2023-05-30.
- Rauschenberger, M., Schrepp, M., Pérez Cota, M., Olschner, S., e Thomaschewski, J. (2013). Efficient measurement of the user experience of interactive products. how

- to use the user experience questionnaire (ueq). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*.
- Resnick, M. (1998). Technologies for lifelong kindergarten. *Educational technology research and development*, 46(4):43–55.
- Resnick, M. (2017). *Lifelong kindergarten: Cultivating creativity through projects, passion, peers, and play*. MIT press.
- Rojas-Sánchez, M. A., Palos-Sánchez, P. R., e Folgado-Fernández, J. A. (2023). Systematic literature review and bibliometric analysis on virtual reality and education. *Education and Information Technologies*, 28(1):155–192.
- Sá, M. J. e Serpa, S. (2023). Metaverse as a learning environment: Some considerations. *Sustainability*, 15(3):2186.
- Sachs, J. D., Schmidt-Traub, G., Mazzucato, M., Messner, D., Nakicenovic, N., e Rockström, J. (2019). Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature sustainability*, 2(9):805–814.
- Saritas, M. T. e Topraklikoglu, K. (2022). Systematic literature review on the use of metaverse in education. *International Journal of Technology in Education*, 5(4):586–607.
- Savelyeva, T. e Park, J. (2022). Blockchain technology for sustainable education. *British Journal of Educational Technology*, 53(6):1591–1604.
- Schrepp, M., Thomaschewski, J., e Hinderks, A. (2017). Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (ueq). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*.
- Singh, J., Malhotra, M., e Sharma, N. (2022). Metaverse in education: An overview. *Applying Analytics to Measure Customer Experience in the Metaverse*, pages 135–142.
- Smith, C. H., Molka-Danielsen, J., Rasool, J., Webb-Benjamin, J.-B., e UK, K. L. (2023). The world as an interface: Exploring the ethical challenges of the emerging metaverse. In *Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences, Maui, HI*, pages 6045–6054.
- Talan, T. e Kalinkara, Y. (2022). Students’ opinions about the educational use of the metaverse. *International Journal of Technology in Education and Science (IJTES)*, 6(2):333–346.
- Tlili, A., Huang, R., Shehata, B., Liu, D., Zhao, J., Metwally, A. S., Wang, H., Denden, M., Bozkurt, A., Lee, L.-S., Beyoglu, M., Altinay, F., Sharma, R. C., Altinay, Z., Li, Z., Liu, J., Ahmad, F., Hu, Y., Salha, S., Abed, M., e Burgos, D. (2022). Is metaverse in education a blessing or a curse: a combined content and bibliometric analysis? *Smart Learning Environments*, 9(1):1–31.
- Ullah, M., Amin, S. U., Munsif, M., Yamin, M. M., Safaev, U., Khan, H., Khan, S., e Ullah, H. (2022). Serious games in science education: a systematic literature. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 4(3):189–209.

- Wu, J. e Gao, G. (2022). Edu-metaverse: Internet education form with fusion of virtual and reality. In *Proceedings of the 2022 8th International Conference on Humanities and Social Science Research (ICHSSR 2022)*, pages 1082–1085, Chongqing, China.
- Yang, R., Li, L., Gan, W., Chen, Z., e Qi, Z. (2023). The human-centric metaverse: A survey. In *Companion Proceedings of the ACM Web Conference 2023*, pages 1296–1306.
- Yue, K. (2022). Breaking down the barrier between teachers and students by using metaverse technology in education: based on a survey and analysis of shenzhen city, china. In *2022 13th International Conference on E-Education, E-Business, E-Management, and E-Learning (IC4E)*, pages 40–44.
- Zadorozhniuk, R. (2023). Uav data collection parameters impact on accuracy of scots pine stand mensuration. *Scientific Journal Ukrainian Journal of Forest & Wood Science*, 14(1).
- Zhang, X., Chen, Y., Hu, L., e Wang, Y. (2022). The metaverse in education: Definition, framework, features, potential applications, challenges, and future research topics. *Frontiers in Psychology*, 13.
- Zhang, X., Yao, L., Wang, X., Monaghan, J., Mcalpine, D., e Zhang, Y. (2019). A survey on deep learning based brain computer interface: Recent advances and new frontiers. *arXiv preprint arXiv:1905.04149*, 66.
- Zhong, J. e Zheng, Y. (2022). Empowering future education: Learning in the edu-metaverse. In *2022 International Symposium on Educational Technology (ISET)*, pages 292–295. IEEE.