

Realidade Virtual Imersiva e Meio Ambiente: Revisão Sistemática de Literatura dos anos de 2020 a 2024

Miriam Nunes, UFRGS, miriam.nunes@ufrgs.br, 0000-0003-1794-3462
Liane Tarouco, UFRGS, liane@penta.ufrgs.br, 0000-0002-5669-588X
Fabrício Herpich, UFRGS/UFSC, fabricio.herpich@ufsc.br, 0000-0002-1575-0512

Resumo. Este artigo apresenta uma revisão sistemática de literatura sobre a aplicação da tecnologia de realidade virtual imersiva para o ensino e a promoção da preservação do meio ambiente. Os estudos revisados foram publicados entre 2020 e 2024 em inglês e em português, em veículos internacionais de divulgação científica. Foi criada uma *string* aplicada às plataformas de pesquisa de dados de acesso aberto Scopus, Scielo, IEEE, Science Direct e Google Acadêmico, que indexam as principais fontes bibliográficas. Ao todo, foram coletados 320 artigos. Dentre esses, 64 foram selecionados para análise completa, de acordo com critérios de inclusão e exclusão. Após a leitura, 19 artigos foram selecionados para extração de dados. Para esta análise, foi utilizada a plataforma Parsifal. Os resultados destacam que a Realidade Virtual Imersiva (RVI) tem potencial para ser uma ferramenta estratégica na educação para a sustentabilidade, proporcionando aos usuários a capacidade de visualizar informações e interagir com conteúdos de forma mais atrativa. As simulações em RVI oferecem aos estudantes a oportunidade de aprender, praticar, experimentar e errar em um ambiente virtual seguro, sem riscos de danos reais. Além disso, a RVI pode criar conexões emocionais, fundamentais para influenciar o comportamento dos usuários.

Palavras-chave: Realidade Virtual Imersiva; Meio Ambiente, Ensino.

Immersive Virtual Reality and the Environment: A Systematic Literature Review from 2020 to 2024

Abstract. This article presents a systematic literature review on the application of immersive virtual reality technology for education and promotion of environmental preservation. The reviewed studies were published between 2020 and 2024 in English and Portuguese in international scientific outlets. A search string was created and applied to Scopus, Scielo, IEEE, Science Direct, and Google Scholar. Those are open data search engines that indexes major bibliographic sources. From 320 articles, 64 were selected for full analysis, according to inclusion and exclusion criteria. After reading the articles, 19 of them were selected for data extraction. The Parsifal platform was used for this analysis. The results highlight that Immersive Virtual Reality (IVR) has the potential to be a strategic tool in education for sustainability, providing users with the ability to visualize information and interact with contents in a more attractive way. The IVR simulations offer students the opportunity to learn, practice, experiment, and make mistakes in a safe virtual environment, without the risk of real hazard. Moreover, IVR can create emotional connections, which are essential for influencing user behavior.

Keywords: Immersive Virtual Reality; Environment; Education.

1. Introdução

No Brasil, a educação ambiental é obrigatória pela Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999, que institui a Política Nacional de Educação Ambiental. Essa lei determina que a educação ambiental deve ser um componente essencial e permanente em todos os níveis e modalidades

do processo educativo, abrangendo tanto a educação formal (escolas e universidades) quanto a não formal (comunidades e organizações). As instituições de ensino são incentivadas a integrar práticas e conteúdos relacionados ao meio ambiente e à sustentabilidade em suas atividades. A ONU objetiva garantir que, até 2030, todos os estudantes adquiram conhecimentos e habilidades para promover o desenvolvimento sustentável, integrando educação em sustentabilidade, direitos humanos, igualdade de gênero e uma cultura de paz e não violência. O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 4.7 visa incorporar a sustentabilidade na educação, embora essa não seja ainda uma cultura universalmente enraizada. Pesquisadores têm utilizado a RVI para simular experiências que ensinam sobre sustentabilidade, permitindo um aprendizado sem riscos e criando conexões emocionais que podem influenciar comportamentos.

Recentemente, houve uma mudança nas teorias de aprendizagem, deslocando o foco de modelos centrados no professor para abordagens mais centradas no aluno, como as construtivistas. As pesquisas analisadas indicam que a RVI pode aumentar a conscientização dos estudantes sobre questões ambientais e promover mudanças comportamentais positivas. A imersão e o engajamento proporcionados pela tecnologia permitem que os alunos explorem diversos cenários ambientais de forma interativa, resultando em maior retenção de conhecimento em comparação aos métodos tradicionais. Além disso, também ajuda a entender o impacto das ações humanas no meio ambiente.

Nesse cenário, a RVI surge como uma ferramenta promissora, proporcionando experiências imersivas que promovem o protagonismo e a motivação dos alunos. A RVI é crucial para a promoção da literacia ambiental, que, conforme Fauville *et al.* (2020), envolve entender conceitos ambientais e tomar decisões informadas para a sustentabilidade e o bem-estar coletivo. A ferramenta também pode fomentar as quatro dimensões da literacia ambiental: conhecimento, atitudes, habilidades e comportamento responsável. Suas principais vantagens incluem oferecer um ambiente seguro para a prática de habilidades, criar conexões emocionais que incentivam comportamentos pró-ambientais, facilitar a compreensão de conteúdos complexos e ser acessível e inclusiva. Para investigar como o Brasil e outros países utilizam a RVI para abordar questões ambientais, foi realizada uma revisão sistemática da literatura entre 2020 e 2024.

2. Metodologia

Para documentar e organizar a revisão sistemática de literatura, empregou-se a plataforma Parsifal¹, conforme recomendado por Klock (2018). Essa ferramenta online foi especificamente concebida para conduzir revisões sistemáticas na literatura da engenharia de software (FERREIRA, *et al.*, 2020), simplificando e organizando os aspectos metodológicos da pesquisa.

O emprego desta plataforma envolveu a execução das seguintes fases:

1. Estabelecimento das questões de pesquisa;
2. Desenvolvimento e implementação do texto de busca;
3. Inclusão e catalogação dos artigos;
4. Análise dos títulos e resumos para aplicação dos Critérios de Inclusão (CI) e Critérios de Exclusão (CE);
5. Criação e avaliação das perguntas de qualidade; e
6. Extração dos dados de leitura.

A questão central do estudo é compreender como a realidade virtual imersiva vem sendo aplicada para o ensino e a promoção de questões ligadas ao meio ambiente.

¹ Parsifal: <http://parsif.al>

Para responder a essa pergunta, através da leitura dos artigos selecionados, foram definidas três questões para a análise qualitativa no Parsifal, a saber:

1. Em que áreas do conhecimento têm sido utilizados ambientes virtuais imersivos no contexto da sustentabilidade?
2. Como foram desenvolvidas as aplicações para ambientes virtuais imersivos educacionais?
3. Como foram avaliadas as aplicações de ambientes virtuais imersivos para fins educacionais?

Tabela 1 - Critérios de inclusão e exclusão

Critérios de inclusão	<p>CI1 - O artigo apresenta recursos educacionais virtuais imersivos voltados ao desenvolvimento da sustentabilidade.</p> <p>CI2 - O artigo apresenta resultados que vão ao encontro do objetivo definido para o artigo e dos instrumentos utilizados em sua avaliação.</p> <p>CI3 - O artigo foi escrito em português ou em inglês; as palavras-chave estão presentes na estrutura do artigo como um todo.</p> <p>CI4 - O artigo foi publicado entre 2020 e 2024.</p> <p>CI5 - O artigo possui acesso aberto.</p>
Critérios de exclusão	<p>CE1 - O artigo não contempla recursos educacionais virtuais imersivos voltados ao desenvolvimento da sustentabilidade. Contém apenas os termos pesquisados em sua estrutura textual.</p> <p>CE2 - O artigo apresenta relatórios técnicos, ou documentos em forma de resumos, apresentações ou revisões de literatura secundária.</p> <p>CE3 - O artigo apresenta apenas aspectos teóricos e/ou filosóficos</p> <p>CE4 - O artigo não apresenta de forma clara os resultados e os instrumentos utilizados na avaliação dos recursos educacionais virtuais imersivos para o desenvolvimento da sustentabilidade.</p>

Para esta pesquisa, foi elaborada a *string* ("immersive virtual reality") AND ("education") AND ("sustainability"), que foi então utilizada nos mecanismos de busca Scopus, Scielo, IEEE, Science Direct e Google Acadêmico. Os dados destes artigos foram exportados utilizando a extensão BibTex para o programa Parsifal onde foi possível aprovar ou rejeitar os artigos conforme a leitura do título e do resumo a partir dos critérios de inclusão e exclusão.

Tabela 2 – Resultados da busca

Base de pesquisa	Nº de artigos encontrados	Nº de artigos selecionados para leitura	Nº de artigos selecionados para extração de dados
Scopus	143	39	07
Scielo	25	4	02
IEEE	22	9	5
Science Direct	47	7	3
Google Acadêmico	83	6	2
Total de artigos usados na extração de dados			19

3. Resultados

Considerando a finalidade deste estudo, de realizar uma análise dos artigos publicados sobre o uso da RVI no ensino e promoção do meio ambiente, entre os anos 2020 e 2024, esta seção busca responder às três questões de pesquisa elaboradas na seção 2. Os 19 artigos selecionados para extração de dados (tabela 2) estavam de acordo com os critérios de inclusão e exclusão definidos (tabela 1). Buscou-se, por meio da leitura dos trabalhos, responder às três questões de pesquisa propostas na metodologia, que são:

3.1 Em que áreas do conhecimento têm sido utilizados ambientes virtuais imersivos no contexto da sustentabilidade?

A RVI está sendo utilizada em diversas áreas ambientais para fins educacionais, incluindo mudanças climáticas, gestão de resíduos, economia de energia, conservação da biodiversidade e educação para a sustentabilidade. Os artigos analisados mostram que a aplicação desta tecnologia abrange desde iniciativas locais até globais e atende diferentes públicos e faixas etárias. Um exemplo é o aplicativo “Colonies”, desenvolvido por Bordegoni *et al.* (2023), que simula o impacto da extinção das abelhas, permitindo aos usuários experimentar a vida em uma colônia e compreender a importância destes insetos como polinizadores para o equilíbrio ecológico. Este jogo, projetado para o *headset* de realidade virtual Oculus Quest 2, possui seis capítulos e busca gerar empatia, incentivando ações sustentáveis. Outra aplicação similar é o jogo criado por Hahn *et al.* (2022), que ensina agricultores a combater gafanhotos sem pesticidas, desafiando os jogadores a defender suas fazendas de diferentes maneiras.



Imagem 1 - jogo “Gafanhotos”: mão virtual pegando o inseto, patos comendo os insetos e uma usuária jogando. Fonte: Hahn *et al.* (2022)

As mudanças climáticas são o tema da simulação criada por Posluszny *et al.* (2020). A aplicação explora as inundações em Miami, onde os usuários interagem com um pescador que narra a degradação ambiental causada pela acidificação do oceano. Ainda no mesmo tema, Kreimeier *et al.* (2023) desenvolveram uma simulação que explora os impactos dessas alterações climáticas e como as ações individuais podem mitigá-los, e Barth *et al.* (2022) desenvolveram o jogo “Heated Escape”, que educa sobre a crise climática. Cumberbatch *et al.* (2023) exploraram a realidade estendida (RE) no ensino de ciências ambientais, simulando desmatamentos em áreas urbanas. Por sua vez, Occhioni e Paris (2021) utilizaram mundos virtuais para ensinar sobre economia circular e georrecursos. Já Spangenberg *et al.* (2023) investigaram se a RVI, ao permitir que os usuários personifiquem uma árvore, pode aumentar a conexão com a natureza e incentivar comportamentos pró-ambientais. Esses autores sugerem que a sensação de estar no corpo de uma árvore pode fomentar reflexões sobre a relação entre humanos e natureza, aprofundando essa conexão e promovendo atitudes ambientais positivas.

Mastro et al. (2023) pesquisaram o uso da RVI em campanhas de promoção de comportamentos pró-ambientais, especificamente a economia de energia residencial, enquanto Stenberdt e Makransky (2023) estudaram o impacto da RVI na educação sobre gestão de resíduos. A preocupação com os oceanos aparece na experiência criada por Cleri et al. (2023), na qual simulam a deterioração dos recifes de coral. Já Brisc e Serra (2021) aplicaram esta tecnologia na visualização de redemoinhos oceânicos.

A governança ambiental social e corporativa foi tema do trabalho de Nascimento et al. (2023) no qual desenvolveram um jogo em realidade virtual. Já Campos et al. (2023) focaram na coleta seletiva, e Pinto et al. (2023) destacaram o uso deste instrumento para ensinar Geociências. Por fim, Avancini et al. (2023) criaram o jogo “Descarte”, voltado ao ensino de práticas sustentáveis de descarte de resíduos. Sobre os trabalhos aqui apresentados, há que se ressaltar que na China, Cao et al. (2023) demonstraram que a integração de inteligência artificial (IA) com a RVI em ambientes educacionais aprimora a compreensão das questões ambientais, promove valores de conservação e estimula o ativismo. Isso vem ao encontro do cerne deste estudo de compreender como a realidade virtual imersiva vem sendo aplicada para o ensino e a promoção de questões ligadas ao meio ambiente.

3.2 Como foram desenvolvidas as aplicações para ambientes virtuais imersivos educacionais?

As pesquisas analisadas não especificam diretamente quais softwares de realidade virtual imersiva são os mais utilizados para desenvolver aplicações educacionais sobre o meio ambiente. Entretanto, mencionam duas ferramentas principais utilizadas na criação de jogos e de experiências imersivas com foco em sustentabilidade: Unity e Unreal Engine.

O Unity é citado como a ferramenta de desenvolvimento em vários estudos, como na criação do aplicativo "Colonies", sobre abelhas, do jogo sobre gestão de gafanhotos, da simulação sobre os efeitos das mudanças climáticas em Miami, da experiência em RVI para aumentar a conscientização sobre mudanças climáticas, da aplicação sobre a deterioração dos recifes de coral e do jogo "Heated Escape", que aborda a urgência da crise climática. A popularidade do Unity se deve à sua versatilidade, ampla gama de recursos e comunidade ativa de desenvolvedores. Já o Unreal Engine, por sua vez, é mencionado como a ferramenta utilizada para criar a experiência imersiva de visualização de dados climáticos oceânicos. O Unreal Engine é conhecido por sua capacidade de criar gráficos de alta qualidade e ambientes realistas, sendo frequentemente utilizado em jogos comerciais de grande orçamento.

Os artigos também indicam o uso do Blender, um software de modelagem 3D, para a criação de elementos visuais para as aplicações de realidade virtual imersiva, como os modelos 3D de resíduos e lixeiras no jogo "Coleta Seletiva Móvel" e os modelos de animais marinhos na aplicação sobre recifes de coral. Outras ferramentas mencionadas incluem o Godot, usado no desenvolvimento do jogo "Descarte" sobre o descarte correto de resíduos sólidos, e o Houdini FX, utilizado para a modelagem 3D na experiência de visualização de dados climáticos oceânicos. Por sua vez, foi empregado o Vizard, da WorldViz, em conjunto com o HTC Vive Pro, para criar uma experiência imersiva sobre economia residencial. Vale ressaltar que a escolha do software de realidade virtual imersiva ideal depende de diversos fatores, como a complexidade do projeto, o tipo de experiência imersiva desejada, o orçamento disponível e a experiência da equipe de desenvolvimento.

3.3 Como foram avaliadas as aplicações de ambientes virtuais imersivos para fins educacionais?

De modo geral, observou-se que os pesquisadores utilizaram diferentes métodos para avaliar a eficácia das aplicações de RVI. O principal foi o uso de questionários para averiguar a aquisição de conhecimento, a mudança de atitudes e a intenção de adotar comportamentos

sustentáveis. Alguns pesquisadores utilizaram testes de usabilidade com o intuito de verificar a facilidade de uso e a experiência do usuário com a aplicação. Já outros realizaram entrevistas, nas quais foi coletado *feedback* detalhado dos participantes sobre suas experiências. Além desses, usou-se os Diagramas de Venn que busca avaliar o nível de imersão e a sensação de "corporificação". Durante a interação com as aplicações, também foram feitas observações do comportamento do usuário. Abaixo segue em detalhes como cada um conduziu sua pesquisa.

Bordegoni et al. (2023), desenvolvedores do aplicativo "Colonies", aplicaram um questionário piloto para avaliar a usabilidade e a sensação de corporificar o avatar da abelha, com resultados positivos em usabilidade. O estudo indicou que a RVI pode ser eficaz para a educação ambiental. Durante o jogo de combate aos gafanhotos, de Hahn *et al.* (2022), a mecânica e a dificuldade foram ajustadas após testes com um usuário experiente e outro iniciante. Ambos tiveram dificuldades no início, levando os pesquisadores a facilitar o jogo, reduzindo o número de gafanhotos e aumentando a eficiência dos patos em comê-los. No teste seguinte, o usuário experiente venceu o jogo. Para futuros desenvolvimentos do aplicativo, foi constatado que precisam oferecer opções ao jogador para torná-lo fácil de usar, além de incluir legendas.

No estudo de caso sobre inundações em Miami, os pesquisadores Posluszny et al. (2020) utilizaram métodos de pesquisa como entrevistas, grupos focais e diagrama de afinidade para entender as percepções dos usuários sobre o tema e como criar uma experiência imersiva e persuasiva. No artigo, os pesquisadores parecem mais focados nos métodos de design utilizados para criar a experiência do que no resultado da experiência vivenciada pelos usuários em si. O estudo não traz o número de participantes.

Para avaliar a pesquisa feita com 400 participantes, Cao e Jian (2023) utilizaram Modelagem de Equações Estruturais para aferir a eficácia da IA e da RVI na educação ambiental de estudantes universitários. A pesquisa sugere que a IA e a RVI têm o potencial de aumentar a consciência ambiental e de promover ações voltadas à sustentabilidade entre estudantes universitários. Os autores salientam que o estudo utilizou dados auto-relatados, o que significa que pode haver viés de resposta e viés de desejabilidade social.

A pesquisa feita por Kreimeier *et al.* (2023) relata um estudo preliminar que examinou a eficácia de uma simulação de RVI voltada para a educação, com ênfase na conscientização sobre as mudanças climáticas. Sete participantes, com idades entre 21 e 26 anos, sendo quatro mulheres e três homens, participaram da simulação e forneceram *feedback* sobre suas experiências. Essas foram avaliadas por meio de escala Likert de cinco pontos, medindo diversão, valor instrutivo, compreensibilidade e impacto emocional. O *feedback* qualitativo dos participantes também foi apurado.

Cumberbatch *et al.* (2023) não chegaram a testar as experiências. Eles se concentraram na visualização de dados e na criação de ambientes espaciais e realistas para o ensino de temas como desmatamento urbano, anatomia humana e células. Os autores argumentam que essas ferramentas têm o potencial de se tornarem parte essencial da educação, mas reconhecem que ainda estão em fase de protótipo e que testes em sala de aula e validação por especialistas serão necessários em trabalhos futuros.

No estudo de Occhioni e Paris (2021), testes e questionários foram aplicados para avaliar a aquisição de conhecimento sobre temas de sustentabilidade, bem como o nível de interesse dos usuários pela atividade e pelos temas abordados. A partir da análise dos dados coletados com professores e alunos participantes, foi verificado que este mundo virtual foi uma ferramenta útil e eficaz para ensinar a sustentabilidade na modalidade de ensino a distância. Especialmente durante o confinamento decorrente da pandemia de COVID-19, permitiu a aquisição de novos conhecimentos e interesses entre os estudantes.

Os pesquisadores Spangenberg et al. (2023) avaliaram a sensação de presença na floresta amazônica virtual utilizando uma escala Likert de 5 pontos, a sensação de corporificação da árvore com uma escala de 7 pontos, avaliando a percepção do corpo virtual como sendo o próprio corpo, e a capacidade de adotar a perspectiva da árvore com uma escala Likert de 11 pontos. Além disso, investigaram a reflexão dos participantes por meio de uma pergunta aberta e mediram a conexão com a natureza através da escala *Inclusion of Nature in Self* (INS). O comportamento pró-ambiental foi avaliado por uma tarefa de doação, na qual os participantes podiam doar parte de sua remuneração a uma organização de proteção à floresta amazônica. Os pesquisadores também levaram em conta variáveis de confusão, como o enjoo do simulador, avaliado após a experiência, e a conexão com a natureza, medida usando a Escala de Conexão com a Natureza adotada para adolescentes. As análises estatísticas realizadas buscaram compreender o impacto da experiência de RVI nessas variáveis, explorando tanto as dimensões perceptivas e comportamentais quanto as dimensões reflexivas e emocionais da experiência.

No estudo de Mastro et al. (2023), a avaliação do experimento se deu através da análise comparativa das respostas dos participantes a questionários sobre normas, atitudes e estratégias de economia de energia. Os questionários foram aplicados em duas etapas: na primeira sessão e após um intervalo de duas semanas. Os autores destacam a importância da presença e do aprendizado experiencial proporcionados pela realidade virtual como fatores que aumentam a eficácia das campanhas imersivas. No entanto, os autores reconhecem as limitações do estudo, como a autoavaliação dos participantes e o curto período de acompanhamento, sugerindo que futuras pesquisas incluam medidas comportamentais e um acompanhamento mais prolongado.

Stenberdt e Makransky (2023) realizaram testes antes e depois dos alunos participarem da experiência. Neles, foram avaliados o conhecimento sobre a gestão de resíduos, as intenções de separar resíduos (medidas em uma escala Likert de cinco pontos), a autoeficácia (para separar corretamente os resíduos), a eficácia da resposta (a crença de que ações individuais podem fazer a diferença na gestão de resíduos), o interesse (os níveis de engajamento e atenção na atividade de gestão de resíduos) e o prazer (os níveis de divertimento e afeto positivo experimentados durante a atividade).

Após as experiências de Galeotey et al. (2023), os participantes responderam a questionários que avaliaram prazer, imersão, atitude em relação às alterações climáticas e autoeficácia ambiental, podendo também se comprometer com ações climáticas ao selecionarem uma área de interesse para receber sugestões por e-mail. Um questionário de acompanhamento foi enviado dez dias depois para avaliar as ações subsequentes. A intervenção teve um efeito positivo nas atitudes em relação às mudanças climáticas, independentemente da aplicação. A pesquisa contou com um grupo controle, um grupo com a aplicação não imersiva em computador e outro grupo com a aplicação em RVI. Contudo, não foram encontradas diferenças significativas entre esses três grupos de tratamento quanto à mudança de atitude, indicando que jogos em computador e em RVI podem ser tão eficazes quanto métodos baseados em texto. Importante notar que os participantes já possuíam atitudes positivas antes da intervenção e que a experiência foi promovida em torno das mudanças climáticas, atraindo uma amostra predisposta a se engajar com conteúdos ambientais.

Cleri et al. (2023) realizaram a experiência com 179 participantes, sendo adultos jovens (18-35 anos), com equilíbrio de gênero. O nível de escolaridade variou, possuindo desde ensino médio até mestrado. O objetivo principal foi avaliar a usabilidade da experiência, sem foco no impacto ambiental ou na conscientização climática. Utilizaram-se dois métodos: o Questionário de Experiência do Usuário, com oito itens, que avaliou a experiência de forma rápida, mostrando resultados excelentes nas escalas Pragmática,

Hedônica e Geral, apesar das limitações ambientais. Também usaram Diagramas de Venn para medir a corporificação, com a maioria indicando um nível de imersão significativo, com valores entre 4 e 6, e também perguntas abertas. Os resultados preliminares sugerem que a aplicação promove eficazmente a conscientização sobre as mudanças climáticas.

Barth et al. (2022) desenvolveram um protótipo do jogo “Heated Escape”. A sua eficácia educacional ainda precisa ser estudada. Os pesquisadores afirmam que, em breve, será conduzida uma pesquisa com usuários para verificar se tal jogo pode influenciar as crenças e intenções dos jogadores em relação às mudanças climáticas e os seus comportamentos sustentáveis no mundo real.

Brisç e Serra (2021) avaliaram a experiência através de um teste de usabilidade com cinco participantes. Ele consistiu em uma breve instrução sobre o sistema seguida pela execução de tarefas de navegação e observação de dados. Os participantes receberam um questionário com questões sobre a facilidade de uso do aplicativo, incluindo a navegação, a velocidade de movimentação, a utilidade do mapa, a clareza das legendas, a utilidade das dicas visuais e a experiência geral de uso. Os resultados do teste indicam que os usuários conseguiram se adaptar rapidamente aos controles de movimento e interagir com o ambiente virtual em pouco tempo. Os participantes acharam útil a capacidade de navegar pelos redemoinhos, observar a evolução de suas estruturas internas e acompanhar os seus movimentos.

Campos et al. (2023) avaliaram o jogo em duas etapas com o objetivo de engajar tanto a comunidade externa quanto a acadêmica. A primeira ocorreu com 43 participantes, entre 5 e 51 anos, cujas impressões e conhecimentos em coleta seletiva foram registrados via formulário online. A segunda ocorreu com 40 participantes da comunidade acadêmica, entre 13 e 54 anos, também utilizando formulários. Na análise, 67,4% dos participantes externos e 95% dos internos tinham conhecimento prévio de coleta seletiva. Além disso, 97,5% dos participantes internos afirmaram que o jogo atingiu seu objetivo educacional, com 55% compreendendo os conceitos plenamente. Quanto à usabilidade, 90% acharam o jogo interessante e 77,5% o acharam fácil de usar. Sugestões incluíram aumentar o tamanho dos objetos e inserir novos resíduos.

Pinto et al. (2023) avaliaram a eficácia de atividades educativas por meio de questionários aplicados antes e depois das intervenções, contendo perguntas abertas e fechadas para medir o conhecimento prévio e posterior dos alunos. Além disso, fotografias documentaram as visitas de campo, registrando visualmente as atividades práticas. Relatos escritos por professores complementaram os dados, fornecendo informações sobre o envolvimento dos alunos e os desafios enfrentados. Os estudantes que utilizaram a RVI apresentaram maior compreensão e retenção de informações em comparação àqueles que usaram métodos tradicionais, como imagens em 2D. A experiência em RVI foi considerada envolvente e mais eficaz para a fixação do aprendizado.

O jogo "Descarte", de Avancini et al. (2023), foi avaliado pelos desenvolvedores e pela comunidade acadêmica do Instituto Federal do Espírito Santo, em Cariacica. A avaliação focou nos testes de lógica e de funcionalidade para verificar o funcionamento correto da programação do jogo, além de sua eficácia como ferramenta educacional e no uso de realidade virtual imersiva para ensinar sobre o descarte correto de resíduos. O jogo também foi analisado quanto a sua validade como metodologia ativa de ensino e se ele transmite mensagens relevantes sobre sustentabilidade. Não foram especificados o número de participantes e nem os métodos de avaliação utilizados.

4. Conclusão

A partir desta revisão sistemática de literatura pode-se dizer que a questão central deste estudo, que é compreender como a realidade virtual imersiva vem sendo aplicada para o

ensino e a promoção de questões ligadas ao meio ambiente, foi esclarecida. Os artigos aqui analisados apontam para o potencial da RVI na conscientização de estudantes sobre sustentabilidade e meio ambiente e o impacto das suas ações no planeta. Os estudos também demonstram como esta tecnologia está sendo usada no ensino. Entre as aplicações desenvolvidas estão temas como mudanças climáticas, gestão de resíduos, economia de energia e desmatamento. Além disso, a maioria das experiências apresentadas utilizaram algum método de avaliação tais como questionários, testes de usabilidade e entrevistas. Contudo, alguns artigos não trouxeram dados sobre o número de participantes ou avaliações. Pode-se observar, com base nesta análise, que esta ferramenta vem se popularizando, permitindo aos estudantes vivenciar conteúdos educativos de forma imersiva. Embora o foco deste estudo seja o meio ambiente, a RVI pode ser aplicada em outras áreas, necessitando de maior acessibilidade, investimento na formação de educadores e estudos sobre seu impacto a longo prazo. Também é fundamental desenvolver mais conteúdos específicos para esta aplicação e integrar essa tecnologia aos currículos escolares e universitários. A colaboração multidisciplinar entre educadores, ambientalistas, desenvolvedores e pesquisadores é essencial para criar experiências educacionais mais eficazes.

Referências

- AVANCINI, D. B. D.; CAMPOS, A. G. de M.; OLIVEIRA, D. S. de. Métodos alternativos de ensino e aprendizagem de sustentabilidade: idealização e modelagem de um jogo de realidade virtual para o ensino do descarte correto de resíduos sólidos. *Cadernos Técnicos Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 3, n. 1, p. 21-29, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5327/276455760301003>. Acesso em: 9 ago. 2024.
- BAILENSEN, J. N.; SWINTH, K.; HOYT, C.; PERSKY, S.; DIMOV, A.; BLASCOJEVICH, J. The independent and interactive effects of embodied-agent appearance and behavior on self-report, cognitive, and behavioral markers of copresence in immersive virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, v. 14, n. 4, p. 379–393, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1162/105474605774785235>. Acesso em: 3 mai. 2024.
- BARTH, L. L.; HILPERT, P.; KASCHUB, L.; REICHARDT, W. A.; MOSTAJERAN, F.; STEINICKE, F. Heated escape: A virtual reality serious game on the urgency of the climate crisis. In: *ISMAR-Adjunct*, 2022. p. 338-341. DOI: 10.1109/ISMAR-Adjunct57072.2022.00074. Acesso em: 4 mai. 2024.
- BORDEGONI, M.; CARULLI, M.; SPADONI, E.; GALLACE, A.; RESTIFO PILATO, S.. CHI EA '23: *Proceedings of the Conference on Human Factors in Computing Systems*, abr. 2023. Artigo nº 453, p. 1–4. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3544549.3583903>. Acesso em: 4 jul. 2024.
- BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 28 abr. 1999. Seção 1, p. 1.
- BRISC, F.; SERRA, N. Real-time immersive VR visualization of ocean climate data. In: *IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops*, 2021. p. 238-241. DOI: 10.1109/VRW52623.2021.00051.
- CAMPOS, A. M.; OLIVEIRA, D. S.; PADOVANI, M.; TRAGNAGO, V.; MARIANO, C. P. “Coleta Seletiva Mobile”: um jogo educativo em realidade virtual para Educação Ambiental. In: *WORKSHOP DE INFORMÁTICA NA ESCOLA (WIE)*, 29, 2023, Passo Fundo/RS. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 462-474. DOI: <https://doi.org/10.5753/wie.2023.234825>. Acesso em: 9 ago. 2024.
- CAO, F.; JIAN, Y.. The Role of integrating AI and VR in fostering environmental awareness and enhancing activism among college students. *Ciência do Meio Ambiente Total*, v. 908, p.

- 168200, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168200>. Acesso em: jul. 2024.
- CLERI, M.; BOFFI, P.; LANZI, P. L.; MUOLO, M.; GALLACE, A.. EnVisioning CoRals: Embodying coral reef inhabitants to raise awareness on climate changes impacts on remote environment. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY, 9., 2023. Anais [...]. [S.l.]: IEEE, 2023. p. 239-246. DOI: 10.1109/ICVR57957.2023.10169419. Acesso em: 5 mai. 2024.
- CUMBERBATCH, I.; OLATUNJI, J.; ROBILA, S. A. Using Extended Reality Technology in Science Education. In: Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), Old Westbury, NY, EUA, 2023. p. 1-6. <https://doi.org/10.1109/LISAT58403.2023.10179579>. Acesso em: 3 jun. 2024.
- FAUVILLE, G.; QUEIROZ, A. C. M.; BAIENSON, J. N. Virtual Reality as a promising tool to promote climate change awareness. In: KIM, J.; SONG, H. (Ed.). *Technology and Health*. Amsterdã: Elsevier/Academic Press, p. 91-108, 2020.
- FERREIRA, A.L. de P.; GONZALES, G.R.; DOMINGUEZ, H.P.. Mapeamento sistemático da literatura sobre a questão da autonomia do estudante, na óptica de Otto Peters, em softwares educacionais. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, v. 18, n. 1, 2020.
- GALEOTEY, D.F.; LEGAKI, N.Z.; HAMARI, J. Text- and game-based communication for climate change attitude, self-efficacy, and behavior: A controlled experiment. *Computers in Human Behavior*, v. 149, p. 107930, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chb.2023.107930>. Acesso em: 9 ago. 2024.
- HAHN, N.; FUCHS, B.; MA, M. F.; COBB, E.; IQBAL, M. Z. Learning Sustainable Locust Control Methods in Virtual Reality. In: *IMX '22: Anais da Conferência Internacional ACM sobre Experiências de Mídia Interativa*, 2022, Aveiro, JB, Portugal. Pág. 271-274. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3505284.3532973>. Acesso em: 4 jul. 2024.
- KLOCK, A.C.T. Mapeamentos e revisões sistemáticos da literatura: um guia teórico e prático. *Cadernos de Informática*, v.10 n. (1), 2018.
- KREIMEIER, J.; ENDERS, F.; THEELKE, L.; DENTZLER, J.; KUMAR, S.; ROTH, D. Simpósio Internacional IEEE 2023 sobre Adjunto de Realidade Mista e Aumentada (ISMAR-Adjunto). Alemanha. 2023.
- MASTRO, M.; RENIER, L. A.; KLEINLOGEL, E. P.; BROSCH, M. B.; TOBIAS. Immersive virtual reality helps to promote pro-environmental norms, attitudes and behavioural strategies. *Cleaner and Responsible Consumption*, v. 8, p. 100105, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.clrc.2023.100105>. Acesso em: 2 jul. 2024.
- NASCIMENTO, M.; NASCIMENTO, G.; PARREIRAS, M.; MAGALHÃES, M.; XEXÉO, G. ESG+P Evolution: A videogame proposal for teaching the new ESG concept. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTO DIGITAL (SBGAMES), 22., 2023, Rio Grande/RS. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. p. 258-263. Disponível em: https://doi.org/10.5753/sbgames_estendido.2023.234155. Acesso em: 9 ago. 2024.
- OCCHIONI, M.; PARIS, E. Virtual worlds to teach sustainability topics in distance learning. In: *Proceedings of the European Conference on e-Learning (ECEL)*, 2021. p. 617-623. DOI: 10.34190/EEL.21.133. Acesso em: 5 mai. 2024.
- ONU. Transformando o nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. Nova York: Nações Unidas, Departamento dos Assuntos Econômicos e Sociais, 2015.
- PINTO, A.Mendes; SILVA, L. F. da; WEBER, A.K. P. de S. Ensino não-formal e divulgação das geociências por meio da educação ambiental. *Terrae Didática*, Campinas, SP, v. 19, n. 00, p. e023011, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.20396/td.v19i00.8672229>. Acesso em: 4 ago. 2024.

POSLUSZNY, M.; KATZNELSON, S.; O'BRIEN, S.; SPYRIDAKIS, I.; PARK, G. Soo. Promoting Sustainability through Virtual Reality: A Case Study of Climate Change Understanding with College Students. In: Conferência Global de Tecnologia Humanitária IEEE 2020 (GHTC). 2020.

SPANGENBERGER, P.; FREYTAG, S.-C.. Embodying nature in immersive virtual reality: Are multisensory stimuli vital to affect nature connectedness and pro-environmental behaviour? *Computers & Education*, v. 212, p. 104964, 2023. ISSN 0360-1315. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104964>. Acesso em: 8 jul. 2024.

STENBERDT, V.Aksel; MAKRANSKY, G.. Mastery experiences in immersive virtual reality promote pro-environmental waste-sorting behavior. *Computers & Education*, v. 198, p. 104760, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2023.104760>. Acesso em: 9 jun. 2024.