



Ronnie Paskin

RVer para crer

**Uma análise de experiências imersivas em Realidade
Virtual e seu impacto na compreensão de informações
complexas**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Design, do Departamento de Artes & Design da PUC-Rio .

Orientador: Profa. Rejane Spitz

Rio de Janeiro
Março de 2023



Ronnie Paskin

RVer para crer

**Uma análise de experiências imersivas em Realidade
Virtual e seu impacto na compreensão de informações
complexas**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Design da PUC-Rio . Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

Profa. Rejane Spitz

Orientador

Departamento de Artes & Design – PUC-Rio

Prof. Jorge Roberto Lopes dos Santos

PUC-Rio

Prof. Francisco Queiroz

University of Leeds

Rio de Janeiro, 7 de Março de 2023

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial do trabalho, é proibida sem a autorização da universidade, do autor e do orientador.

Ronnie Paskin

Ronnie Paskin is an electrical and computer engineer, and holds graduate degrees in Internet Technologies and Education. He has worked in IT since 1987, in companies from growing startups in the USA to large media companies such as CBS and Rede Globo. He's been responsible for many innovations, including several patents. Since 2014 he's been dedicated to education and research in technology.

Ficha Catalográfica

Paskin, Ronnie

RVer para crer: Uma análise de experiências imersivas em Realidade Virtual e seu impacto na compreensão de informações complexas / Ronnie Paskin; orientador: Rejane Spitz. – 2023.

135 f: il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Artes & Design, 2023.

Inclui bibliografia

1. Artes e Design – Teses. 2. Realidade Virtual. 3. Realidades mediadas. 4. Design. 5. Comunicação científica. 6. Interação humano-computador (IHC). 7. Educação. I. Spitz, Rejane. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Artes & Design. III. Título.

CDD: 004

A todos que buscam o
conhecimento científico verdadeiro,
em especial os educadores.

Agradecimentos

À minha orientadora Rejane Spitz, pela honra de ser seu orientando, por compartilhar tanto de sua experiência e conhecimento e pela sua atenção.

À PUC-Rio, pelos auxílios concedidos, sem os quais este trabalho não poderia ter sido realizado.

Às minhas filhas Hannah e Sophie — vocês são minha inspiração e sempre as amarei acima de tudo.

Aos meus pais Israel e Tania Z"L, que me ofereceram educação e oportunidades ao longo da vida.

A minha companheira Ana Carolina, que tanto me apoiou e ajudou em momentos difíceis.

Aos meus colegas da PUC-Rio, tanto de estudo quanto de trabalho, por tanta riqueza de contribuições que é impossível descrevê-las.

Aos professores que participaram da comissão examinadora.

A todos os professores e funcionários do Departamento pelos ensinamentos, inspiração e ajuda.

Resumo

Paskin, Ronnie; Spitz, Rejane. **RVer para crer: Uma análise de experiências imersivas em Realidade Virtual e seu impacto na compreensão de informações complexas**. Rio de Janeiro, 2023. 135p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Realidade Virtual é uma tecnologia capaz de alterar a percepção do usuário e o transportar para um ambiente mediado por tecnologia, criado pelo designer daquela experiência. Esta dissertação analisa o design de experiências imersivas de Realidade Virtual que tem como objetivo informar ou educar participantes sobre informações complexas. Para tal, fez-se uso de taxonomias de UX e educacionais como base de categorização das experiências. A seleção de trabalhos para análise foi feita a partir de uma base massiva de trabalhos publicados sobre realidade virtual. Utilizou-se uma metodologia original, criada para a presente pesquisa e detalhada ao longo da mesma, baseada em técnicas computacionais de ciência de dados para classificação dos resultados, facilitando a seleção e minimizando vieses de escolha. Ao fim desse processo iterativo, os trabalhos escolhidos foram analisados em termos de aprendizado, engajamento e suas características específicas de UX e educacionais. Tal análise da amostragem de trabalhos selecionada indica que o potencial educacional de Realidade Virtual é significativo e aplicável em diversas áreas, e que é possível estimular o engajamento dos participantes com relativa facilidade. Entretanto, a efetividade educacional da experiência é mais complexa de se alcançar. Sugere-se algumas maneiras com potencial de ajudar a alcançar esse resultado, como: maior foco no design instrucional; maior colaboratividade; mais participação de instrutores; mais interações que permitam atividades criativas, bem como modos mais criativos de apresentação das informações. Essas sugestões e recomendações podem ajudar os designers de experiências em Realidade Virtual (ou de outros tipos de realidades mediadas por tecnologia) a proporcionarem ou explorarem o potencial de experiências que podem se mostrar mais efetivas em alcançar os objetivos de educar ou informar sobre temas complexos.

Palavras-chave

Realidade Virtual; Realidades mediadas; Design; Comunicação científica; Interação humano-computador (IHC); Educação.

Abstract

Paskin, Ronnie; Spitz, Rejane (Advisor). **VR to understand: An analysis of immersive experiences in virtual reality and their impact in the understanding of complex information.** Rio de Janeiro, 2023. 135p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Artes & Design, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Virtual Reality is a technology that can alter a user's perception and transport them into a technology-mediated environment created by the designer of that virtual experience. This research examines the design of immersive Virtual Reality experiences that aim to inform or educate participants about complex topics. To do so, we use UX and educational taxonomies as a basis for categorizing the experiences. The selection of publications for analysis was made from a massive base of published works on virtual reality. An original methodology was used, created for this research and detailed throughout, based on computational data science techniques to classify the results, facilitating the selection and minimizing biases. At the end of this iterative process, the chosen works were analyzed in terms of learning, engagement, and their specific UX and educational characteristics. Such analysis indicates that the educational potential of Virtual Reality is significant and applicable in a variety of areas, and that it is possible to create engaging experiences with relative ease. However, the educational effectiveness of the experience is more complex to achieve. We explore suggestions that may have the potential to achieve this outcome, such as: more focus on instructional design; more collaboration; more instructor participation; more interactions that allow for creative activities, as well as more creative ways of presenting information. These suggestions and recommendations can help designers of Virtual Reality experiences (or other types of technology-mediated realities) to provide or explore the potential for experiences that may prove more effective in achieving the goals of educating or informing about complex topics.

Keywords

Virtual Reality; Mediated reality; Design; Science communication; Human computer interaction (HCI); Education.

Sumário

1	Introdução	11
1.1	Métodos e técnicas de pesquisa	15
1.2	Estrutura da dissertação	16
	Lista de figuras	17
	Lista de tabelas	19
	Glossário	20
2	Realidades mediadas por computador	21
2.1	O que é realidade?	21
2.2	A (re)construção da realidade	22
2.3	Tipos de realidades	23
3	Elementos de Experiências Imersivas em Realidade Virtual	32
3.1	Introdução	32
3.2	Imersão e Presença	35
3.3	Estratégias Educacionais	39
3.4	Imaginação	42
4	Metodologia	43
4.1	Pesquisa Bibliográfica Preliminar	44
4.2	Análise quantitativa automatizada dos resultados	49
4.3	Análise qualitativa dos agrupamentos de resultados	54
4.4	Análise qualitativa dos resultados filtrados	55
5	Estudos de caso	59
5.1	Explorando efeitos da interatividade no aprendizado com contação interativa de histórias em realidade virtual imersiva	59
5.2	Experimento corporificado de levitação em microgravidade em um ambiente simulado em realidade virtual para o aprendizado de ciência	66
5.3	iProgVR: Design de um ambiente de Realidade Virtual para aprimorar o aprendizado introdutório de programação	72
5.4	Educação STEM corporificada com agência: Efeitos de RV 3D comparada a PCs com 2D	79
5.5	Cinemática de movimentação em realidade virtual aumenta eficiência do aprendizado	85
5.6	Logibot: Investigando engajamento e desenvolvimento de pensamento computacional através de realidade virtual	90
5.7	VERITAS: Mapeamento mental em realidade virtual	96
5.8	QiaoLe: Acessando instrumentos musicais tradicionais chineses em RV	101
5.9	Promovendo a tomada de decisão ética em realidade virtual	107
6	Correlações	113
6.1	Análises dos achados	113
6.2	Características dos conjuntos de trabalhos	116

6.3	Hipóteses e sugestões	118
7	Considerações finais	124
8	Referências bibliográficas	130

*Tudo o que vemos poderia também ser
diferente.*

*Tudo o que podemos em geral descrever
poderia ser diferente.*

Não há ordem a priori das coisas.

Ludwig Wittgenstein, *Tractatus Logico-Philosophicus*.

1

Introdução

Os resultados de pesquisas científicas são, em geral, publicados em periódicos e apresentados em congressos e em outros meios especializados para divulgação junto à comunidade científica. No entanto, apesar de ser essencial para o progresso científico, o processo de revisão por pares, publicação em veículos com corpo editorial reconhecido e ISSN, exposição em congressos e seus respectivos anais, entre outras maneiras de divulgar e compartilhar resultados de pesquisa, têm por objetivo não apenas o aumento do conhecimento, mas também o benefício da sociedade. Para esta finalidade, entendimento público da ciência passa a ser essencial, e para tanto é preciso buscar maneiras que viabilizem que não somente especialistas, mas sim o público em geral se interesse, acesse e compreenda a relevância do conhecimento científico.

Na sociedade atual da informação e em rede, em que notícias e opiniões circulam livremente, abordadas de diversas formas, apresentadas devida e indevidamente, bem interpretadas ou distorcidas, divulgadas ou soterradas ao longo de outras informações, é de suma importância a maneira como o conhecimento é apresentado.

Vivemos na era das maiores e mais rápidas conquistas tecnológicas e científicas da história da humanidade. O acesso à informação, através da Internet e dispositivos computadorizados como laptops e smartphones coloca, literalmente na ponta de nossos dedos, com facilidade, em questão de segundos e a qualquer hora, um número infinitamente maior de informações, obras de arte, prosa, poesia, música, aulas, documentários e artigos científicos do que a grande maioria da humanidade teve acesso no passado.

Entretanto, há evidências de uma “crise de confiança” que não foi devidamente considerada por pesquisas na área do entendimento público da ciência (GAUCHAT, 2012, p. 169). Essa crise se tangibiliza, por exemplo, quando surgem teorias de conspiração, desde as mais inócuas como o terraplanismo, às potencialmente danosas como movimentos antivacina.

Tal como observado por Barber (1990), confiabilidade em ciência nunca é completa e finalmente estabelecida, e deve ser continuamente comprovada. A confiança intra-científica, e eventualmente a confiança pública na ciência, dependem do estabelecimento e manutenção de normas morais além das normas técnicas, e em ambos os casos criam as condições necessárias de responsabilidade, essenciais para a ciência. Esforços tremendos para o entendimento público da ciência têm resultados muito deficitários, e uma abordagem mais

genérica é necessária para aumentar o conhecimento comum sobre ciência. (FISCHER, 1996)

Portanto, é crucial que mídias, tecnologias e comportamentos sociais, históricos ou contemporâneos, sejam constantemente considerados e avaliados para utilização na divulgação científica. Assim, podem estimular a confiança e o entendimento público da ciência.

Desta forma, é importante que os resultados das pesquisas — seus métodos, descobertas, análises e conclusões — sejam disponibilizados de maneira acessível para pessoas de fora das áreas específicas do conhecimento, sejam estas cientistas de outras áreas (fomentando a polinização cruzada do conhecimento), jornalistas (especializados ou não em divulgação científica), estudantes de universidades ou escolas, ou seja, o público que poderia não apenas se informar mas também se inspirar pelo avanço ou questionamento científico. Nas palavras de Fischhoff (2013), eles “terão visto a busca da incerteza que distingue a ciência de outras formas de conhecimento e a maneira de pensar científica: tentar chegar ao conhecimento final sobre as coisas, sabendo que nunca o terão.” (tradução nossa)

Não basta cientistas e pesquisadores gerarem conhecimento. A ciência não é apenas para os cientistas.

Os maiores achados da ciência, por exemplo sobre cosmologia ou evolução, profundamente influenciam a maneira que pensamos sobre nós mesmos. Eles são, em si, parte importante de nossa cultura. Assim como uma pessoa pode desfrutar de música sem ser um músico [...] também pode desfrutar do entusiasmo e revelação de novas descobertas científicas sem ser um cientista [...] Sem algum entendimento científico, um indivíduo é privado de muito da riqueza do pensamento humano contemporâneo. (WALTER et al., 1985, p. 10, tradução nossa)

Desenvolvimentos modernos da cultura e tecnologia criam a necessidade de reconsiderar o papel das ciências humanas de forma mais proativa como co-condutoras de desenvolvimento, e não apenas com papel reflexivo e descritivo. Lesaffre e Leman (2020) nos convidam a considerar que em domínios da tecno-cultura, novas pontes entre arte e ciência são capazes de levar a inovações nestes campos, que não são necessariamente dicotômicos. Os autores argumentam que certos fenômenos, performances artísticas e interações (humano-humano e humano-máquina) iriam se beneficiar de abordagens mais integradas. Seguindo esta análise, a integração entre ciências humanas, arte e ciências exatas podem criar novas pontes e oportunidades na divulgação científica que devem ser exploradas.

Com base nesta motivação, ao se buscar um escopo apropriado para este estudo optou-se por analisar a Realidade Virtual, quando utilizada como mídia para explicar temas complexos. Realidades mediadas por computador como a Realidade Virtual são desenvolvimentos tecnológicos inovadores e relevantes, capazes de amplificar a utilização dos chamados Metaversos, universos sociais online compostos por diversos mundos virtuais que expandem nossa realidade usual. Projetos que se utilizam deste tipo de mídia frequentemente envolvem experiências impactantes e transformadoras. Uma busca preliminar de estudos utilizando Realidade Virtual revelou um número de resultados significativo e de qualidade, indicando que uma busca mais aprofundada com certeza traria bons resultados para a realização de uma análise detalhada.

Sendo um entusiasta de ciências, tecnologia e arte, além de engenheiro e educador, considero-me um ótimo candidato para ousar uma integração entre os diferentes aspectos destes campos. Em 1987 me formei técnico em computação e em 1993 engenheiro eletricitista com ênfase em computação. Atuo na área de TI desde então, e presenciei, em primeira mão — e contando com base técnica para apreciação — o nascimento e popularização de computadores pessoais, videogames, internet, smartphones, entre tantas inovações tecnológicas. Recordo, por volta de 1998, quando pude ajudar um amigo a configurar um dos primeiros *headsets* comercialmente disponíveis de realidade virtual¹. A primeira vez que me senti imerso em uma cena 3D de um jogo — em que uma corrente de lava vulcânica corria, visível por entre fendas, metros abaixo do chão onde eu pisava — foi, certamente, uma experiência incrível. Após uma carreira de sucesso, em especial de desenvolvimento (programação), tendo trabalhado no Brasil e nos EUA, em 2013 decidi passar a dar aulas e me apaixonei por educação, me especializando com uma pós-graduação em docência e sendo coordenador de um curso de ensino médio técnico. Ainda hoje, trabalho com pesquisa em TI e dou aulas e mentorias em programas de inovação, portanto sempre conectado a tecnologias inovadoras. Considero que um grande diferencial da minha formação é justamente a capacidade de informar e sensibilizar pessoas com perfis (idades, formações, interesses) diferentes sobre informações complexas como computação e tecnologia.

Em se integrando educação e tecnologia, cito Paulo Freire, que diz que nosso aprendizado vem da apreensão da realidade (FREIRE, 2005, p.68). Donald Hoffman, por sua vez, argumenta que a seleção natural não favorece ver a realidade como ela é, e sim a criação de modelos que mascaram a complexidade do real e nos levam a um comportamento mais apto à

¹O Forte VFX1. Disponível em <https://en.wikipedia.org/wiki/VFX1_Headgear>, acessado 1 de jan. de 2023.

sobrevivência. (HOFFMAN; SINGH; PRAKASH, 2015, p.2)

Nossa sobrevivência como espécie, dessa forma, depende da construção de nossa realidade. Entretanto, há uma forte rejeição de fatos científicos bem estabelecidos e que nos impactam terrivelmente, como mudanças climáticas. Portanto, há grande resistência em mudar para hábitos mais sustentáveis. Lewandowsky e Oberauer (2016, p.1) argumentam que esta rejeição é impulsionada por “cognição motivada: as pessoas tendem a rejeitar achados que ameacem suas crenças principais ou visão de mundo.” O presente estudo, então, foi motivado em parte pela pergunta: *Essas crenças ou visões de mundo podem ser afetadas através do uso de Realidade Virtual?*

Como a realidade subjetiva é construída através dos afetos e dos sentidos, qual é o efeito de tecnologias capazes de criar uma realidade mediada, ou seja, capaz de “alterar a entrada de informação sensorial”? (MANN, 2002) Esta manipulação dos sentidos pode ser utilizada para a exposição de assuntos complexos de forma inovadora e eficaz? Seus efeitos na criação da realidade subjetiva enquanto ferramenta educadora podem ser avaliados? Podemos entender seu potencial impacto como agente de educação, conscientização e até mesmo mudanças de comportamento? Existe uma quantidade significativa de trabalhos utilizando realidade virtual, ou outras tecnologias de realidade mediada por computador, com resultados empíricos e capazes de sustentar uma análise do seu impacto e correlações entre eles?

A partir de uma revisão de literatura, selecionou-se um número representativo de trabalhos que utilizam Realidade Virtual, que informam ou educam participantes sobre temas complexos e têm resultados empíricos reportados. Estes estudos foram analisados, correlações entre eles avaliadas quanto ao impacto na compreensão de tais temas e recomendações extrapoladas quanto à criação de aplicações de realidade mediada por computador eficazes para a educação e compreensão de temas complexos.

Como objetivos específicos, tivemos:

1. Identificar mecanismos de busca e palavras-chave de trabalhos acadêmicos utilizando mídias de realidade virtual com análise de participantes e resultados empíricos.
2. Classificar os resultados quanto à eficácia em educar e engajar dos participantes.
3. Selecionar os principais resultados e reunir os pontos relevantes ao seu impacto na compreensão de informações complexas.

4. Analisar tais pontos relevantes e levantar hipóteses quanto à sua aplicação.

O objetivo final, conforme exposto acima, foi o de iniciar um processo que auxilie no design da comunicação de ideias complexas, potencializando o impacto e a apreensão de informações, em especial trabalhos científicos, utilizando Realidade Virtual.

1.1

Métodos e técnicas de pesquisa

Este estudo tem como objetivo principal analisar trabalhos apresentando informações sobre temas complexos, que analisam resultados empíricos sobre participantes que vivenciam experiências de Realidade Virtual, identificar correlações e diferenças entre eles e o potencial impacto na apreensão deste conhecimento.

Métodos de pesquisa mistos sequenciais foram utilizados (CRESWELL, 2007, p.39). Foi feita uma pesquisa bibliográfica ampla na fase inicial, com o intuito de comparar possibilidades de uso, palavras-chave e resultados obtidos em diversos mecanismos de busca de material científico publicado sobre realidades virtual com participantes (livros, revistas, publicações em periódicos, artigos científicos, etc.).

Essa análise serviu de base para uma segunda fase quantitativa em que se determinou as palavras-chave para buscas (positivas e negativas), bem como a seleção dos mecanismos de busca que seriam utilizados (como por exemplo IEEE Xplore Digital Library, ProQuest, Scopus, Google Scholar). Os resultados das buscas foram registrados em planilha e analisados, a fim de criar uma lista de documentos com maior potencial relevância ao tema da pesquisa. Nesta fase foi utilizado um mecanismo de aprendizado de máquina não supervisionado, classificando automaticamente as listas em grupos.

Com base nesta análise, alguns documentos selecionados foram analisados manualmente. Os grupos gerados automaticamente na fase anterior serviram como norteadores. A partir de uma amostragem de cada grupo, analisada manualmente, foi possível decidir quais grupos se destacaram como mais relevantes, ajudando assim a focar em um aprofundamento maior em artigos destes grupos. Também foi feita uma seleção adicional manual (por palavras-chave de interesse, bem como *snowballing*, ou seja, seguindo referências e autores citados nos trabalhos lidos) e criou-se um resumo sobre cada um dos artigos. (CRESWELL, 2007, p.64-66)

Finalmente, estas análises serviram de base para uma comparação dos trabalhos, com o intuito de correlacionar e contrastar seu conteúdo e seus

resultados no que tange à temática da presente pesquisa e, por fim, extrapolar recomendações.

As fases descritas acima se encontram detalhadas no capítulo 4.

1.2

Estrutura da dissertação

A dissertação é estruturada em 7 capítulos, descritos a seguir:

No presente capítulo, se coloca a ideia central do estudo, questões norteadoras, objetivos geral e específicos, justificativa e relevância, métodos e técnicas de pesquisa utilizadas e estrutura.

O capítulo 2 detalha o que são realidades mediadas por computador, como a realidade virtual e realidade aumentada. Também explora questões de como todas realidades são construídas internamente, mapeando o mundo real, que é sempre mediado por algum elemento de percepção e entendimento, o que pode gerar conflitos entre o que é apresentado e o que é percebido.

O capítulo 3 discorre sobre os elementos de experiências de Realidade Virtual, notadamente referenciando e ampliando taxonomias para classificação destas experiências segundo seus elementos de UX e estratégias educacionais.

As fontes consultadas para pesquisa de trabalhos, detalhando a metodologia e ferramentas usadas para efetuar buscas, selecionar palavras-chave, filtrar e analisar documentos são discutidas em detalhes no capítulo 4. Este capítulo é extremamente relevante para o presente trabalho, pois apresenta técnicas que incluem ciência de dados e inteligência artificial, capazes de auxiliar na seleção de documentos para revisão de literatura sobre um assunto, expostas de forma replicável.

Explora-se detalhadamente, no capítulo 5, cada trabalho selecionado na fase final. Além dos resumos, as obras são analisadas, em especial no tocante ao design das experiências imersivas com RV. Procura-se estruturar ainda cada análise de forma a suportar os achados do próximo capítulo.

O capítulo 6 traça paralelos, correlações e comparações entre os trabalhos expostos. Avalia pontos em comum e diferenciados entre os trabalhos, apresenta conclusões e faz recomendações com base nestas análises, com o objetivo de aumentar o potencial impacto na educação, compreensão e até mesmo mudança de comportamento sobre sustentabilidade e suas complexidades.

Nas considerações finais, apresentamos um resumo da trajetória da dissertação, e reflexões sobre quais podem ser os possíveis desdobramentos futuros da pesquisa, bem como alguns princípios norteadores para o design de comunicação de assuntos complexos usando realidades mediadas por computador e para a efetividade da comunicação sobre a temática da pesquisa.

Lista de figuras

Figura 2.1	<i>Headset</i> de Realidade Virtual	24
Figura 2.2	<i>Sensorama</i> de Morton Heilig.	24
Figura 2.3	Espada de Dâmocles de Ivan Sutherland	25
Figura 2.4	<i>Tablet</i> demonstrando Realidade Aumentada	26
Figura 2.5	Projeção mapeada sobre York Minster	27
Figura 2.6	Jogadora demonstra seu <i>setup</i> de Skyrim em VR.	28
Figura 2.7	Realidade X-Y adaptado de Mann et al. (2018): no eixo X, uma escala entre o real e o virtual, no eixo Y, uma escala entre não mediado e mediado. No gráfico, coloca-se como exemplos Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR).	29
Figura 2.8	Máscaras de solda, de lente escura (esquerda) e de lente automática (direita).	30
Figura 3.1	Taxonomia sugerida para experiências de usuário (UX) em sistemas de RV, adaptada, traduzida e rotulada. As categorias em tracejado forte foram adicionadas. Ver a figura 3.2 para o detalhamento dos dispositivos de saída (blocos demarcado por tracejado fraco). (KIM; RHIU; YUN, 2020, p.3-4).	33
Figura 3.2	Taxonomia sugerida para o feedback para o usuário (dispositivos de saída) para experiências de usuário (UX) em sistemas de RV, adaptada, traduzida e rotulada. A parte de feedback háptico passivo (demarcada por tracejado) foi adicionada. (KIM; RHIU; YUN, 2020, p.4).	34
Figura 3.3	Campo de visão do Oculus Rift CV1, simulado com duas imagens do olho direito, foto tirada com uma lente de 10mm.	38
Figura 3.4	Estratégias e taxonomias educacionais segundo Akdeniz (2016) (rótulos adicionados.)	40
Figura 4.1	Mapeamento do método misto sequencial, utilizando a notação de métodos mistos de Creswell (2013, Capítulo 10)	44
Figura 4.2	Resultados do site IEEE Xplore e opções de ordenação.	47
Figura 4.3	Resultados do site Scopus.	49
Figura 4.4	Exemplo de programação visual na ferramenta Orange Data Mining.	50
Figura 4.5	Seleção de colunas no software Orange Data Mining.	51
Figura 4.6	Pré-processamento de texto no software Orange Data Mining.	52

Figura 4.7	Tabela de dados demonstrando parcialmente o resultado do bloco <i>Bag of Words</i> .	53
Figura 4.8	Agrupamento hierárquico com o dendograma mostrando agrupamentos diferentes.	53
Figura 4.9	Seleção de dados de apenas um agrupamento (C1), filtrando 70 resultados de um total de 1839.	54
Figura 4.10	Comparação da nuvem de palavras de dois agrupamentos: C1 e C2.	54
Figura 5.1	Alguns “personagens” da narrativa, incluindo o jovem neutrófilo PHIL controlado pelo usuário e bactérias do tipo S.AUREUS que causam infecção. (ZHANG; BOWMAN, 2022)	61
Figura 5.2	Ponto de vista do “piloto” de um neutrófilo prestes a atacar uma bactéria. (ZHANG; BOWMAN, 2022)	62
Figura 5.3	Usuário utilizando um HTC Vive Pro. (ZHANG, 2022)	63
Figura 5.4	Elementos hápticos passivos rastreados. a) Um “cubo de memória”. b) Um “cryptex”, uma espécie de cofre mecânico. c) Uma tocha. d) Uma válvula. (DAVARI et al., 2019)	67
Figura 5.5	Participante suspenso, ancorado ao teto por um suporte (<i>swing</i>), utilizando um Oculus Rift (<i>HMD</i>) e monitorado pelo sensor <i>Kinect</i> .	69
Figura 5.6	Cena da aplicação, com o avatar do usuário perto da estação espacial, e o planeta Terra por detrás.	69
Figura 5.7	Objetos levitando, do ponto de vista do usuário da EIRV.	70
Figura 5.8	iProgVR: variáveis, representadas cada uma por uma gaveta.	75
Figura 5.9	iProgVR: lista, representada por um conjunto de gavetas.	76
Figura 5.10	iProgVR: matriz, representada por um conjunto de escaninhos.	76
Figura 5.11	Jogo em 2D (versão web), em que se clica nas borboletas para capturá-las.	81
Figura 5.12	Jogo em VR, em que se usa a rede para capturar borboletas.	82
Figura 5.13	Diferentes borboletas, venenosas (vermelhas) e não-venenosas (verdes). (JOHNSON-GLENBERG; BARTOLOMEA; KALINA, 2021)	83
Figura 5.14	Pseudo-código de um algoritmo de <i>bubble-sort</i> não otimizado.	87
Figura 5.15	Visão da atividade de <i>bubble sort</i> .	88
Figura 5.16	Membros de uma comunidade de aprendizado em uma sessão virtual (NERSESIAN, 2021, p.27).	90
Figura 5.17	LogiBot, nível de exemplo em VR (topo) e mesa com blocos de comandos (abaixo).	92
Figura 5.18	LightBot, níveis de exemplo e blocos de comandos.	93

Figura 5.19	O sistema CleVR: Acima, dois colaboradores explorando um tópico em palácios de memória; abaixo, navegação e agenda de repetição espaçada (SIMS et al., 2022).	96
Figura 5.20	Ferramenta VERITAS. (a) Carrossel interativo de peças para uso. (b) Mapa mental completo. (SIMS; KARNIK, 2021)	98
Figura 5.21	<i>QiaoLe</i> : Modo de exibição.	102
Figura 5.22	<i>QiaoLe</i> : Modo livre.	103
Figura 5.23	<i>QiaoLe</i> : Modo com gamificação.	104
Figura 5.24	Dois participantes utilizando o LeMo para construir um <i>loop</i> musical em RV. (MEN; BRYAN-KINNS, 2018)	106
Figura 5.25	<i>LeMo</i> : Propostas de tipos de espaços, com áreas de trabalho pessoais e públicas. (MEN; BRYAN-KINNS, 2019)	107
Figura 5.26	Pontos de vista de vítima (acima) e de condutor (abaixo).	108
Figura 5.27	Alavanca física utilizada para redirecionar o bonde (esquerda) e sua representação virtual (direita).	109
Figura 5.28	Dois outros jurados, vistos do ponto de vista do terceiro jurado.(MACINTYRE et al., 2003)	111
Figura 5.29	Participante sendo tocado para simular a sensação háptica quando interagindo com um humano virtual.(KRUM; KANG; PHAN, 2018)	111
Figura 6.1	Elementos de UX que não apareceram nos trabalhos avaliados.	121
Figura 6.2	Elementos de saída que não apareceram nos trabalhos avaliados.	122
Figura 6.3	Estratégias e taxonomias educacionais que não apareceram nos trabalhos avaliados.	123

Lista de tabelas

Tabela 3.1	Características de AVs e AVIs.	35
Tabela 3.2	Limitações (dada a tecnologia corrente) de AVs e AVIs.	35
Tabela 4.1	Classificações dos itens dentro dos agrupamentos, ordenados por quantidade de resultados aderentes aos critérios.	55
Tabela 4.2	Classificações de resultados nos agrupamentos selecionados, conforme critérios de aderência.	56
Tabela 4.3	Classificações de resultados nos agrupamentos selecionados, conforme critérios de aderência.	56
Tabela 4.4	Classificações de resultados segundo elementos de design.	57

Tabela 6.1 Classificações dos trabalhos segundo os resultados alcançados com os participantes.

114

2

Realidades mediadas por computador

Este capítulo explora a diferença entre o que é real e o que são realidades, e como estas são construídas. Analisamos taxonomias e explicações sobre os diferentes tipos e classificações de realidades, em especial as realidades construídas e mediadas por meio da tecnologia, tal como Realidade Virtual e a Realidade Aumentada.

2.1

O que é realidade?

Vivemos em uma era de facilidade de acesso à informação nunca antes vista. Porém, ao mesmo tempo, uma era de extrema polarização. É natural e salutar que haja diferentes opiniões e interpretações de fatos, mas a quantidade de interpretações contraditórias e até mesmo regressivas, do ponto de vista do conhecimento adquirido ao longo dos séculos pela humanidade. Não apenas isso, existe ainda uma enorme diferença entre as maneiras como grupos e indivíduos interpretam informações e experiências.

A hipótese que apresentamos é que não existe uma realidade, e sim múltiplas realidades. Existem as realidades subjetivas que construímos internamente, que nos ajudam a modelar nossas experiências e o que percebemos e aprendemos. Existem as realidades que experimentamos, em especial através de tecnologias que são muitas vezes as responsáveis por mediar as experiências que nos afetam.

2.1.1

Real vs Realidade

É essencial definir de forma clara o que chamamos de *real* e *realidade*. Estes termos podem parecer auto-explicativos, mas absolutamente não são triviais e vêm intrigando filósofos há milênios.

Por *real*, não iremos adotar o conceito platônico de que “o real está na mente e não no mundo natural” (HEIDEGGER, 2013 apud COELHO, 2012, p.1) mas iremos concordar que o real é aquilo que “escapa o simbólico, que não pode ser nem falado nem escrito” e que “situa o simbólico e o imaginário nas suas respectivas posições.” (LACAN, 1982 apud COELHO, 2012, p.1)(traduções nossas)

O real é, na nossa definição, aquilo que está além do que pode ser modelado ou representado, interna ou externamente, mas que serve de base

comum aos afetos dos seres vivos.

Quanto à *realidade*, concordamos com Coelho (2012, p.1), que “sob essa abordagem teórica, a realidade se torna uma construção derivada do real, que é algo induzido por abstração [...] uma representação do real.” (tradução nossa).

A realidade em nossa definição é, portanto, necessariamente subjetiva. Ela não existe sem o sujeito que a experimenta, seja em seus sentidos, afetos, emoções, sentimentos, limitações, habilidades cognitivas e experiências prévias. A realidade não só molda continuamente os modelos internos de realidade mas também é ela própria moldada, tanto pelo real quanto pelo que não é real. Como disse Wittgenstein (1922) uma imagem [de realidade] é uma “representação independente de sua verdade ou falsidade” e mais ainda o “seu sentido” e, enfim,

Tudo que vemos pode ser outra coisa do que é. Tudo que podemos descrever poderia ser outra coisa do que é. Não há ordem a priori das coisas. (WITTGENSTEIN, 1922, tradução nossa).

2.2

A (re)construção da realidade

Se a realidade é, conforme definimos, subjetiva, devemos olhar como ela se constrói. Quais abstrações a induziram? Segundo Paulo Freire, nosso aprendizado vem da apreensão da realidade:

A capacidade de aprender, não apenas para nos adaptar mas sobretudo para transformar a realidade, para nela intervir, recriando-a, fala de nossa educabilidade a um nível distinto do nível do adiestramento dos outros animais ou do cultivo das plantas. A nossa capacidade de aprender, de que decorre a de ensinar, sugere ou, mais do que isso, implica a nossa habilidade de apreender a substantividade do objeto aprendido. (FREIRE, 2005, Cap.2.6)

Enquanto Freire discorre sobre a recriação da realidade subjetiva (para alinhar com nossas definições prévias, algo como “a recriação do real”), por sua vez o cientista cognitivo Donald Hoffman afirma que:

neurocientistas vão além. Eles dizem que reconstruímos a realidade. Então, quando tenho uma experiência que descrevo como um tomate vermelho, aquela experiência é, de fato, uma reconstrução precisa das propriedades de um tomate vermelho real que existiria mesmo se eu não estivesse olhando. (HOFFMAN, 2015, 5min37)(tradução nossa)

Hoffman, com a finalidade de tentar responder à pergunta “a seleção natural realmente favorece ver a realidade como ela é?” executa simulações usando teoria dos jogos e algoritmos evolutivos para testar hipóteses, fazendo com que “organismos em mundos artificiais compitam de forma a verificar quais deles sobreviveram e prosperaram, quais sistemas sensoriais são mais aptos.” Segundo o autor, os resultados podem surpreender, pois “em quase toda simulação, organismos que [...] estão sintonizados à aptidão, levam à extinção todos os organismos que percebem a realidade como ela é.” (HOFFMAN, 2015, 10min36)(tradução nossa)

Aptidão, neste contexto, significa adaptabilidade ou *fitness* em inglês. Estes achados apontam que a evolução dos organismos não leva necessariamente a percepções mais acuradas do real, e sim a percepções que favorecem melhores resultados. Ou seja, leva a modelos que *mascam* a complexidade do real e a um comportamento mais apto à sobrevivência.

Portanto, podemos concluir que a realidade que construímos para florescer como espécie não representa a realidade de maneira acurada. Parece natural que esta representação subjetiva do real seja moldada por influências externas e mecanismos internos de cada pessoa.

2.3

Tipos de realidades

2.3.1

Realidade Virtual

Em 1989, Jaron Lanier cunhou o termo “Realidade Virtual” (RV; ou VR, “Virtual Reality” em inglês) para abarcar uma série de projetos virtuais, tipicamente utilizando *headsets* que substituem os sentidos visuais, em 3D, como o da figura 2.1.

Projetos pioneiros em simulação de realidade já haviam sido realizados no século XX, como o *Sensorama* de Morton Heilig nos anos 50². O projeto era uma cabine mecânica multissensorial, oferecendo sensações de visão, audição, olfato e tato e visão estereoscópica (figura 2.2)(SPITZ, 2021, p.62-63)

Steuer (1992, p.75-77) define RV de forma independente de algum tipo específico de equipamento. Uma Realidade Virtual é definida como um ambiente real ou simulado no qual um observador experimenta *telepresença*. Enquanto *presença* é definida como “a sensação [mental] de existir em um ambiente”,

¹Imagem por dlohner no site Pixabay; <<https://pixabay.com/photos/vr-virtual-reality-glasses-3411378/>>

²Vídeo demonstrando o Sensorama disponível em <<https://youtu.be/vSINEBZNCKs>>, acessado 20 de fev. de 2023.



Figura 2.1: *Headset* de Realidade Virtual.¹



Figura 2.2: *Sensorama* de Morton Heilig.

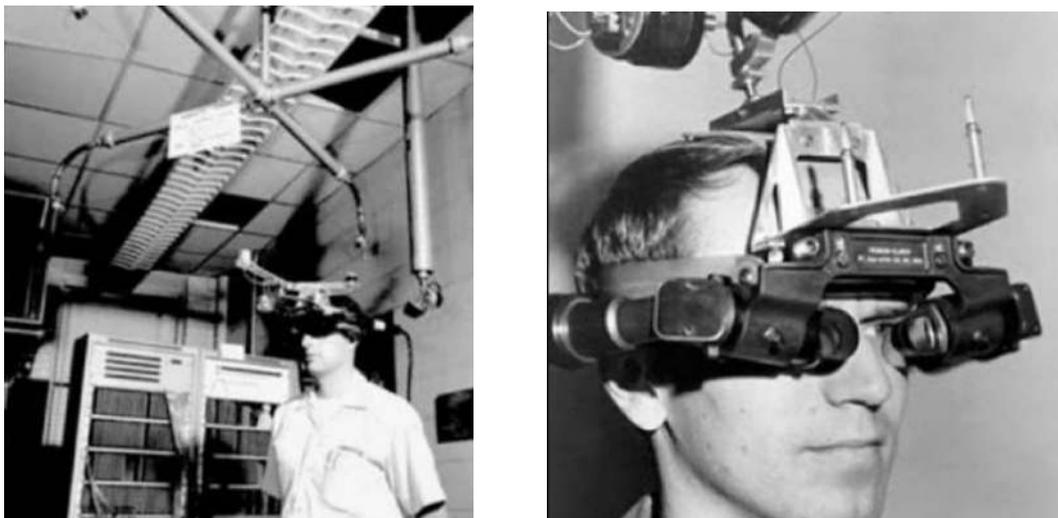


Figura 2.3: “Espada de Dâmocles” de Ivan Sutherland.

telepresença, por sua vez, é definida como “a sensação de se sentir presente no ambiente mediado e não no ambiente físico ao seu redor”. Uma discussão mais detalhada desses conceitos se encontra na seção 3.2.

Equipamentos de Realidade Virtual, em geral, são compostos no mínimo por um *headset* acompanhado de fones de ouvido ou com emissores de áudio embutidos. O *headset* costuma possuir duas fontes independentes de vídeo, uma para cada olho, com a função de simular a paralaxe que nos dá a percepção de profundidade. Possuem ainda, em geral, sensores capazes de perceber qual a posição da cabeça do usuário, de forma que, ao movimentar a cabeça, o ângulo visual se ajusta. A experiência tem um resultado imersivo, ou seja, o usuário se sente dentro de outra realidade (ver seção 3.2).

2.3.2

Realidade Aumentada

No começo dos anos 90, Tom Caudell cunhou o termo “Realidade Aumentada” (“Augmented Reality”, ou AR) na empresa Boeing, ao pesquisar um conceito explorado por Ivan Sutherland e seus alunos nas Universidades de Harvard e de Utah, nos anos 60, sobre a superimposição de gráficos gerados por computador à realidade, como na “Espada de Dâmocles” de 1968³ (figura 2.3)(SPITZ, 2021, p.63).

Realidade aumentada, como o próprio nome indica, em geral irá sobrepor imagens ou informações a imagens ao mundo real. Esta superposição pode ser feita por dispositivos como *tablets* (como na figura 2.4) ou *smartphones*, e até mesmo por *headsets* que permitem ver o mundo real diretamente,

³Vídeo demonstrando a Espada de Dâmocles disponível em <<https://youtu.be/eVUgfUvP4uk>>, acessado 20 de fev. de 2023.

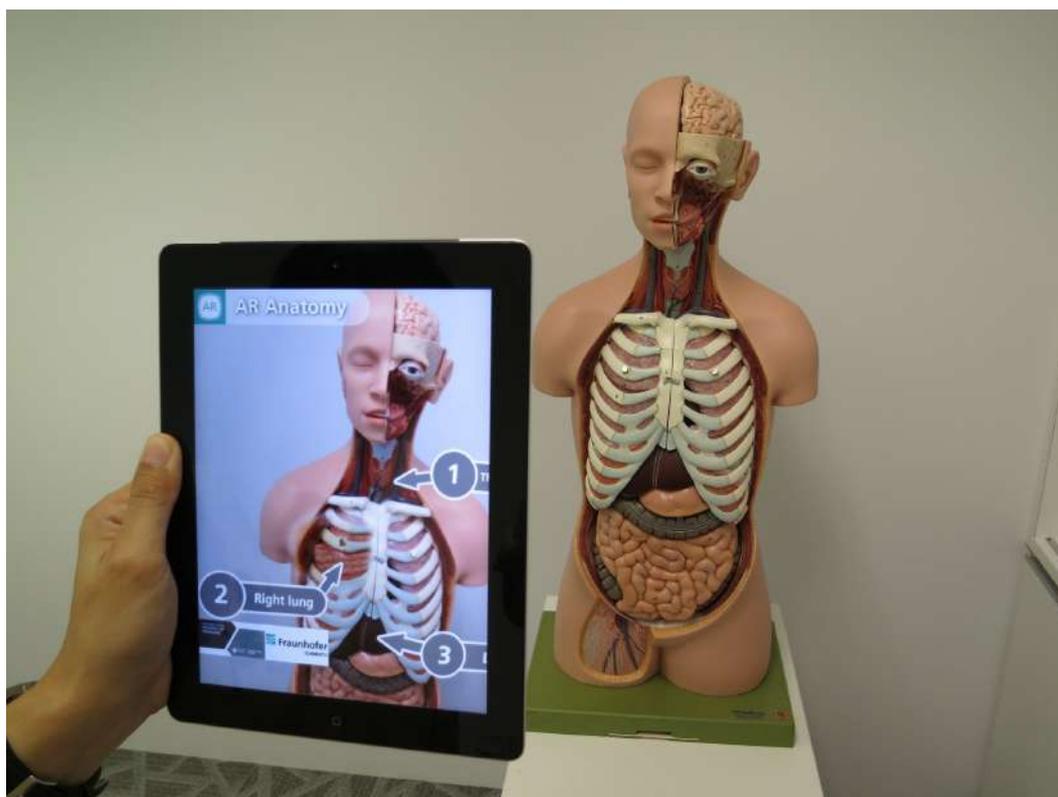


Figura 2.4: Tablet demonstrando Realidade Aumentada.⁷

mas intermediado por lentes com imagens projetadas. Alguns dispositivos conhecidos que fazem este tipo de coisa são o Google Glass⁴, Microsoft HoloLens⁵ e o Magic Leap⁶.

Ainda que a abordagem de usar telas ou óculos para Realidade Aumentada seja mais comum, gráficos ou vídeos podem ser aplicados sobre superfícies do mundo real por projetores de imagens e luz. Este tipo de aplicação, chamado de projeção mapeada (“*projection mapping*” em inglês) também é um tipo de Realidade Aumentada, como no exemplo da figura 2.5, e não necessita que os espectadores usem diretamente um equipamento. Em geral, também é uma experiência coletiva, pois qualquer um no mesmo ambiente irá ver as projeções.

⁴<<https://www.google.com/glass/start/>>

⁵<<https://www.microsoft.com/en-us/hololens>>

⁶<<https://www.magicleap.com/en-us/magic-leap-1>>

⁷Imagem por zedinteractive no site Pixabay <<https://pixabay.com/photos/augmented-reality-medical-3d-1957411/>>

⁸Imagem por Petr Kratochvil, <<https://www.publicdomainpictures.net/pt/view-image.php?image=10189&picture=projeccao-de-video-de-mapeamento>>



Figura 2.5: Projeção mapeada sobre York Minster.⁸

2.3.3

Mais Realidades

É interessante observar que o conceito de alteração de realidade por tecnologia já havia sido explorado muito antes das tecnologias mencionadas até aqui. O psicólogo estadunidense George Stratton, no final do século XIX, criou óculos capazes de modificar como o mundo era visto, (des)invertendo de ponta-cabeça a imagem que chegava nos olhos. (STRATTON, 1896)

Steve Mann, da universidade de Toronto, pioneiro em computação vestível, afirma que o termo Realidade Misturada (“*Mixed Reality*”, ou MR) cobre um contínuo entre gráficos elevados por computador e vídeos elevados por gráficos. A realidade misturada é qualquer maneira de adicionar e misturar o mundo real e mundos virtuais. (MANN, 2002, p.1)

O autor observa ainda que, como no experimento supracitado de Stratton, a percepção pode ser diminuída. Portanto, um conceito mais genérico é necessário. Desta forma, cunhou o termo “*Realidade Mediada*”, ao se “referir a um arcabouço geral para modificação artificial da percepção humana usando dispositivos para aumentar, diminuir deliberadamente e mais genericamente, para alterar a entrada de informação sensorial.” (MANN, 2002)

Se “realidades aumentadas existem em uma linha contínua entre o real e o virtual” (MANN et al., 2018, apud MILGRAM, 1994) ainda identificam um subconjunto destas de “Realidades Cruzada” (“*Cross-Reality*”, ou “XR”). Existem diferentes definições de Realidade Cruzada. Mann et al. (2018, p.2) as



Figura 2.6: Jogadora demonstra seu *setup* de Skyrim em VR¹⁰

classificaram: *Tipo 1a* (que corre em um eixo entre tecnologias que aumentam ou expandem capacidades sensoriais), *Tipo 1b* (que mistura sentidos misturando o real e o virtual) e *Tipo 2* (que mistura redes de sensores/ atuadores e mundos virtuais). Um exemplo do Tipo 2 é a possibilidade do uso de uma combinação de óculos de Realidade Virtual, colete e braceletes hápticos, roupas, sensores, atuadores e até ventiladores, para imersão em mundos virtuais como o videogame Skyrim.⁹ (Figura 2.6)

Mann et al. (2018, p.2) expandem o conceito de Realidade Mediada, rebatizando as tecnologias que modificam ou mediam a realidade, propositalmente ou não de como “Realidade X-Y” (“*X-Y Reality*”). A razão de chamá-la de Realidade X-Y é a representação através dois eixos. No eixo X, uma linha entre o real e o virtual, e no eixo Y, uma linha representativa de quão mediada é a experiência (Figura 2.7).

A realidade X-Y então é subdividida entre (a) realidade mediada deliberadamente, quando a mediação é feita propositalmente, como por exemplo visores (“*viewfinders*”) que permitem ver a imagem como irá ser capturada por câmeras fotográficas e (b) realidade mediada não-intencionalmente, como por exemplo, ao olhar o mundo através de um smartphone, podemos não nos dar conta que a imagem é alterada automaticamente, por exemplo, em termos de cor, brilho, e até mesmo filtros que mexem em tom de pele, proporções faciais, muitas vezes embarcados pelos próprios fabricantes no software do aparelho e ativados por padrão, sem intervenção do usuário.

Os autores ainda expandem a taxonomia dos variados tipos de realidades, introduzindo conceitos como “Realidade Multimediada” (*R) e “Realidade

⁹JONES, A. Meet the VR enthusiast who spent \$15,000 to make Skyrim as immersive as possible. **GamesRadar**, 2021. Disponível em: <<https://www.gamesradar.com/meet-the-vr-enthusiast-who-spent-dollar15000-to-make-skyrim-as-immersive-as-possible/>>. Acesso em: 2021-07-30.

¹⁰Imagens pela usuária gingasvr no TikTok, <<https://www.tiktok.com/@gingasvr>>

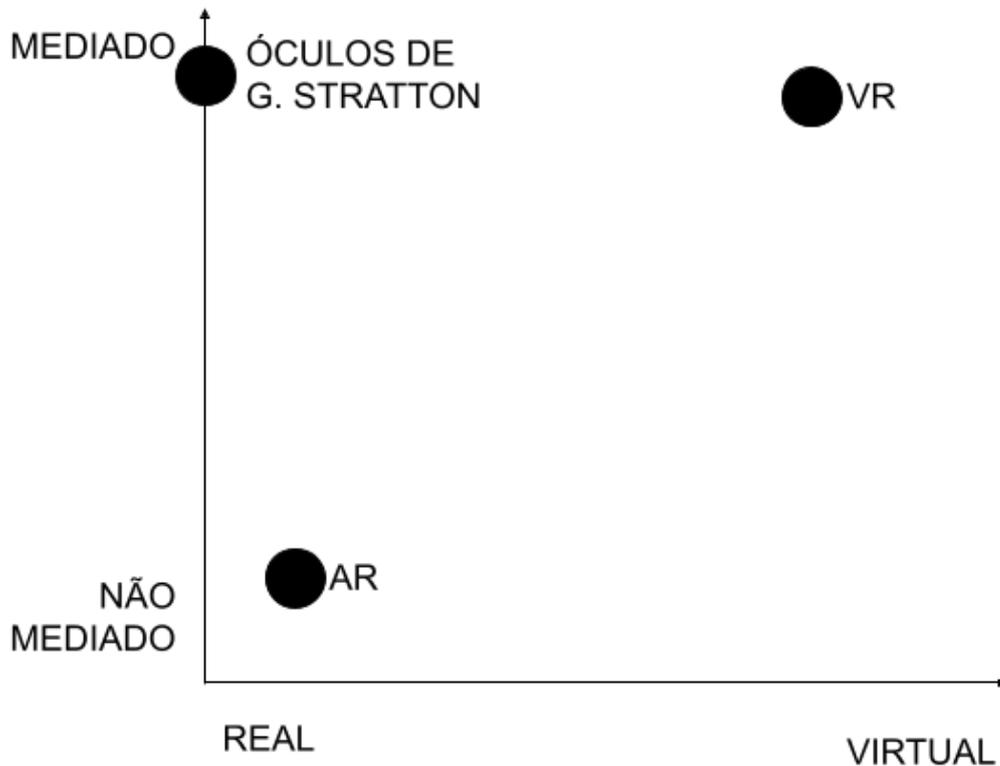


Figura 2.7: Realidade X-Y adaptado de Mann et al. (2018): no eixo X, uma escala entre o real e o virtual, no eixo Y, uma escala entre não mediado e mediado. No gráfico, coloca-se como exemplos Realidade Aumentada (AR) e Realidade Virtual (VR).

Multidimensional” (ZR).

2.3.4

Realidades mediadas por tecnologia

A taxonomia dos múltiplos tipos de realidades conforme colocadas por Mann et al. (2018) pode parecer à primeira vista um pouco confusa. Mas é possível chamar todas estas aplicações simplesmente de *realidades mediadas por tecnologia* (RMT).

Definimos RMT como qualquer aplicação de tecnologia capaz de alterar a percepção humana. Por tecnologia, entendemos qualquer processo, método, técnica, ferramenta e/ ou conhecimento técnico e científico. RMT pode acontecer por algo tecnologicamente complexo como um *headset* de Realidade Virtual ou um smartphone de última geração, com câmeras com sensores de profundidade e capacidade de processamento para Realidade Aumentada. Esta mediação pode advir até mesmo de uma *ciborguização* do ser humano, como exemplificado por Sogabe (2019) quando disserta sobre o Dr. William Dobbelle, que implantou uma matriz de eletrodos em seu córtex visual, conectado a um sistema externo através de um conector na caixa craniana, ligado a óculos



Figura 2.8: Máscaras de solda, de lente escura (esquerda) e de lente automática (direita).¹²

com uma câmera e um sensor de distância. Ou ainda exemplos menos radicais, como:

sistemas que são conectados ao corpo, mas sem a necessidade de invasão, ou conexão interna. O Mouse Ocular [...] é um sistema visual usado sem a necessidade de implantes. Ele permite captar o movimento dos olhos, através de sinais de eletrodos conectados superficialmente nas têmporas, e envia as informações para um programa que converte a saída em ações, através da movimentação do mouse na tela do computador. (SOGABE, 2019, p.159)

Entretanto, RMT pode ser também algo mais simples. Tampões de ouvido que reduzem ruídos do mundo externo, como os EPIs¹¹ usados por trabalhadores de aviação, são mediadores da realidade usando uma tecnologia sem extrema complexidade.

Um exemplo interessante é o de máscaras para solda. Estas precisam proteger a visão do soldador de brilhos muito intensos (figura 2.8). Existe a tradicional máscara com lente escura fixa, que o soldador faz uso apenas durante os momentos necessários. Também há máscaras eletrônicas de autoescurecimento, que utilizam um filtro capaz de mudar de claro para escuro automaticamente quando arcos de solda geram o brilho intenso, e até um exemplo mais tecnologicamente complexo, mencionado por Mann et al. (2018): uma máscara de solda com o uso de visão computacional para ao mesmo tempo diminuir o brilho em áreas de brilho intenso e aumentar o brilho em áreas de sombra intensa.

Mais ainda, podemos considerar como realidade mediada a maneira como dispositivos e sistemas são usados como filtros que selecionam quais informações recebemos acerca do mundo.

¹¹Equipamentos de Proteção Individual.

¹²Imagens do site pxhere.com <<https://pxhere.com/en/photo/747031>> <<https://pxhere.com/en/photo/709384>>

Alinhado com a definição supracitada de realidades mediadas deliberadamente ou não, muitas vezes a mediação chega a passar despercebida. Mas se considerarmos que vivemos em uma era de exposição a uma quantidade tremenda de informações e que inevitavelmente usamos tecnologias para filtrar e escolher que informações consumimos, esses sistemas, em conjunto com nossos modos e hábitos de uso, são responsáveis diretos por mediar nossa realidade.

Na rede social Facebook, por exemplo, existem duas opções de mostrar o *feed* de notícias: automaticamente por relevância (o padrão, que utiliza um algoritmo proprietário desta rede para decidir o que é mais relevante para cada usuário) ou por data (mostrando o que é mais recente primeiro). Caso o usuário deixe no padrão, este algoritmo é diretamente responsável por escolher quais notícias irão aparecer para o usuário, e isso, necessariamente irá influenciar como o usuário constrói sua realidade.

Segundo o Relatório de Notícias Digitais de 2021 da Reuters (NEWMAN et al., 2021), 83% dos brasileiros relatam consumir suas notícias de veículos online, com 47% e 43% consumindo notícias via Facebook e Whatsapp, respectivamente. Logo, é extremamente relevante considerar como esta mediação da realidade pode influenciar a sociedade.

Camargo et al. (2012) observam que

ambientes desenvolvidos para operar na nova mídia procuram emular aspectos da realidade [...] operam de forma estratégica, com planejamento mercadológico [...] rompe com a linearidade da comunicação e permite transmitir livremente grandes quantidades de informação e conhecimento.

Portanto, é importante ressaltar que apesar da aparente liberdade de transmissão, estas grandes quantidades de informação são regidas justamente por forças de mercado, corroborando a importância de considerar os efeitos desta emulação de realidade no mundo e na construção das realidades de cada um.

3

Elementos de Experiências Imersivas em Realidade Virtual

3.1

Introdução

O presente capítulo tem como objetivo apresentar elementos que possam formar um arcabouço para a análise de experiências imersivas de Realidade Virtual, a fim de permitir uma análise sistemática de relatos sobre experiências que serão selecionadas.

Kim, Rhiu e Yun (2020, p.1-3) identificam que ainda há uma significativa falta de pesquisas sobre taxonomias para reconhecer as principais características de experiência de usuário em sistemas de RV. Inicialmente, segundo os autores, sistemas foram classificados de forma limitada, apenas de acordo com seu grau de imersão e elementos visuais.

Muhanna (2015) propôs uma estrutura hierárquica, porém como Kim, Rhiu e Yun (2020, p.2) observaram, esta não foi muito diferente do critério de imersão. Estes últimos autores ainda denotam que houve outros esforços de classificação de sub-elementos, dispositivos de entrada e saída e métodos de interação, mas que fazia-se necessário uma reorganização de classificação sistemática, e portanto se propuseram a organizar tais estudos, provendo uma estrutura metodológica para categorizar estudos de RV e da experiência de usuário (UX) em RV, demonstrada de forma traduzida, adaptada e expandida nas figuras 3.1 e 3.2 (KIM; RHIU; YUN, 2020, p.3). O presente trabalho irá utilizar essa taxonomia para avaliação de experiências.

Ambientes Virtuais (AVs), ambientes experimentados através de Realidade Virtual, são definidos como “informação sensorial sintética que leva a percepções de ambientes e seus conteúdos como se fossem não sintéticos” e que Ambientes Virtuais Imersivos (AVIs) são aqueles que “cercam o usuário sensorialmente, aumentando seu sentido de presença, ou de se sentir realmente dentro da experiência.” (BLASCOVICH et al., 2002, p.105) Ambientes Virtuais Colaborativos (AVCs) envolvem mais de um usuário, podendo ser AVs ou AVIs, e podendo usar tanto *agentes corporificados* (modelos que se comportam conforme algoritmos) como avatares (modelos controlados por humanos em tempo real). (BAILENSEN et al., 2008, p.105).

Bailenson et al. (2008, p.1-3) descrevem algumas características de AVs e AVIs, conforme a tabela 3.1, bem como algumas limitações, conforme a tabela 3.2.

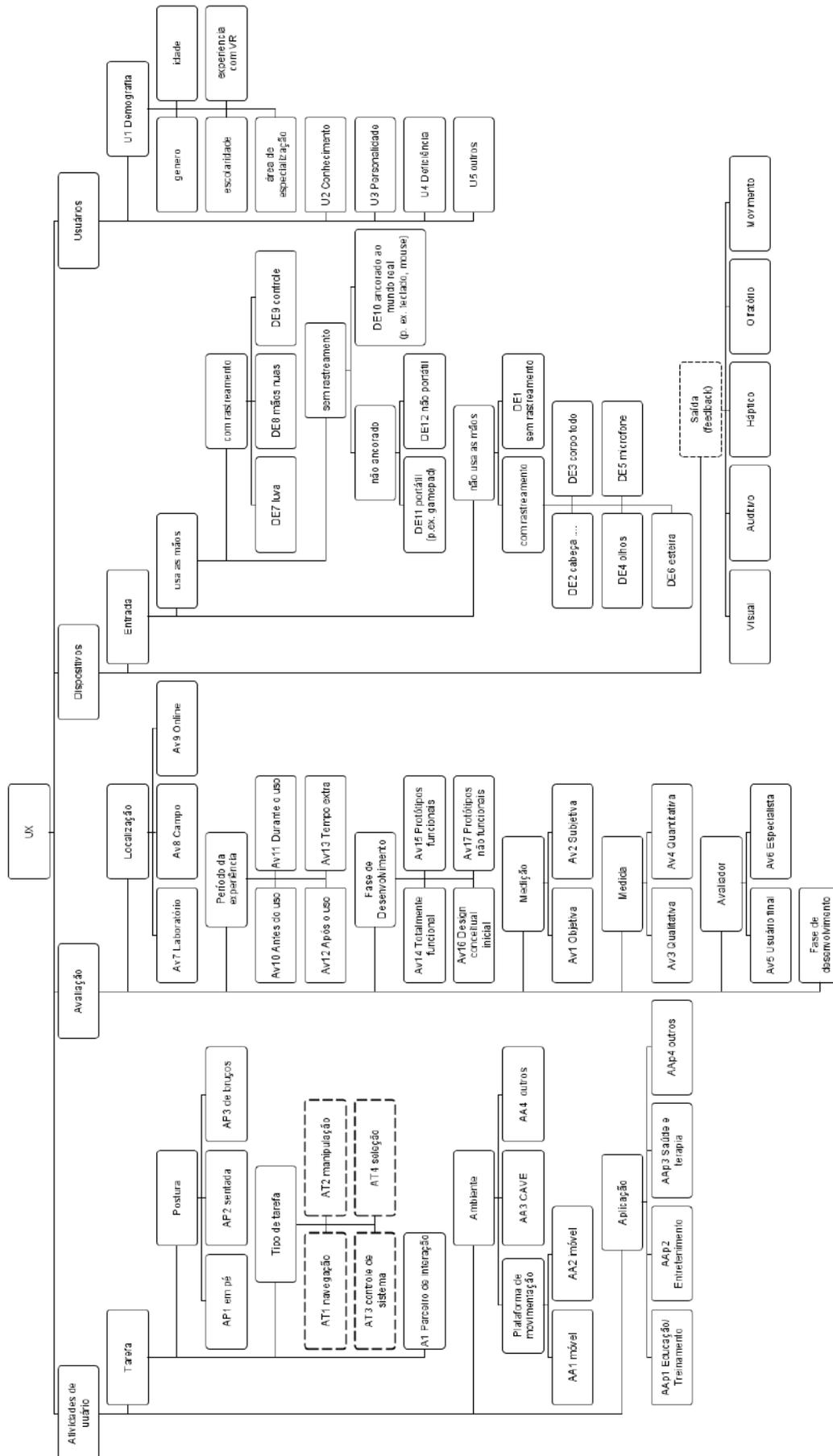


Figura 3.1: Taxonomia sugerida para experiências de usuário (UX) em sistemas de RV, adaptada, traduzida e rotulada. As categorias em tracejado forte foram adicionadas. Ver a figura 3.2 para o detalhamento dos dispositivos de saída (blocos demarcado por tracejado fraco). (KIM; RHIU; YUN, 2020, p.3-4).

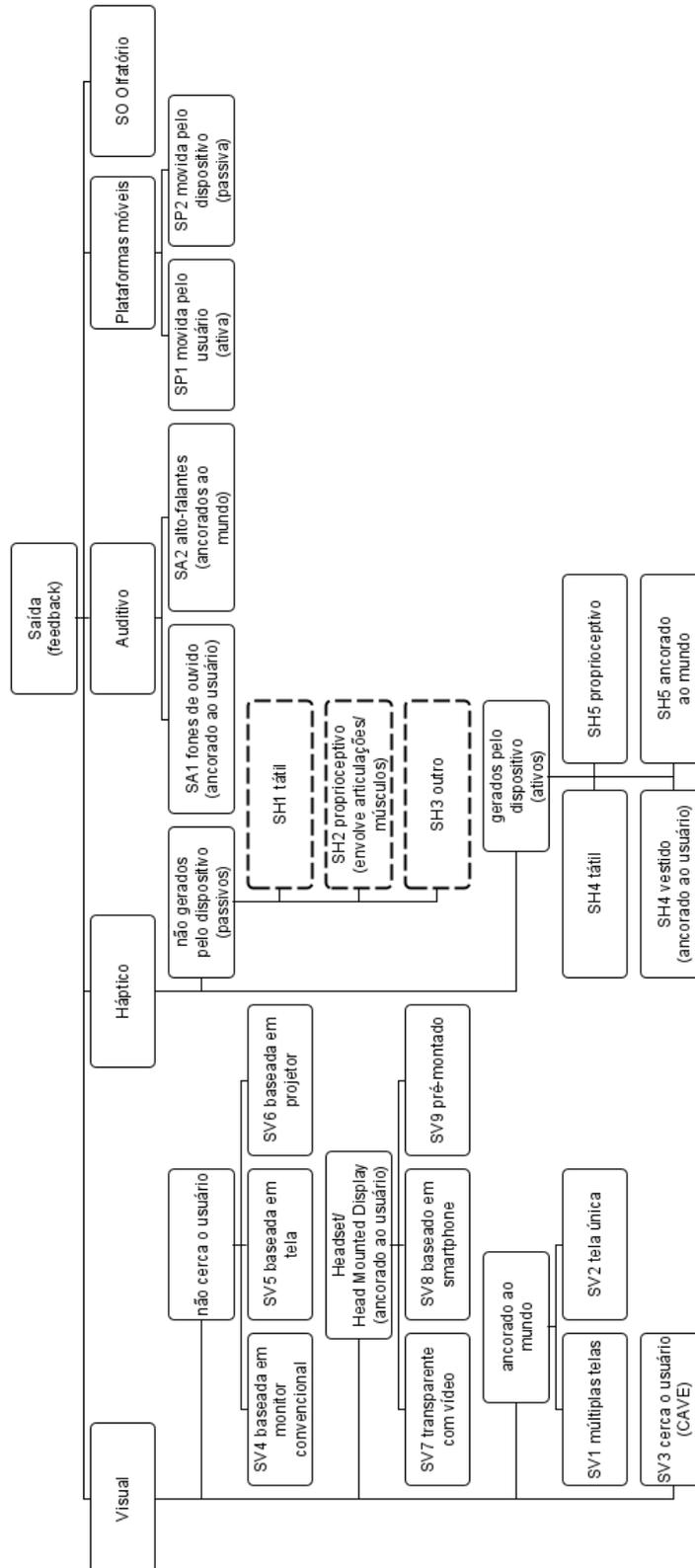


Figura 3.2: Taxonomia sugerida para o feedback para o usuário (dispositivos de saída) para experiências de usuário (UX) em sistemas de RV, adaptada, traduzida e rotulada. A parte de feedback háptico passivo (demarcada por tracejado) foi adicionada. (KIM; RHIU; YUN, 2020, p.4).

Característica	AV	AVI
Pode usar qualquer canal de percepção (visual, auditivo, háptico, olfatório, etc.)	✓	✓
Rastreia o usuário, de forma discreta (seus movimentos, expressões, olhar, etc.)	-	✓
Procura minimizar as percepções do mundo exterior.	-	✓
Os <i>designers</i> têm grande controle sobre a experiência do usuário.	-	✓
Agentes corporificados podem ser utilizados para ensino.	✓	✓
Estudantes virtuais podem colaborar mutuamente no aprendizado.	✓	✓
Permite formas melhoradas de visualização de informações complexas (visuais ou também por outros sentidos).	✓	✓
Sintetiza e representa as ações dos usuários, permitindo registro e análise subsequente.	✓	✓
Oferece potencial de presença e imersão, auxiliando psicologicamente na experiência de aprendizado.	✓	✓
Pode transformar a mecânica de interação social, diferentemente para cada usuário.	✓	✓

Tabela 3.1: Características de AVs e AVIs.

Limitação	AV	AVI
Fotorrealismo	-	Limitado
Comportamentos naturais de avatares (gestos, intonações, expressões faciais).	Limitado	Limitado
Outros sentidos exceto visão (p.ex. háptico).	Limitado	Limitado
Propensão a gerar náusea durante certas experiências.	Não	Sim

Tabela 3.2: Limitações (dada a tecnologia corrente) de AVs e AVIs.

3.2

Imersão e Presença

A realidade experimentada por cada um é construída através dos filtros de suas percepções e experiências. Estas, naturalmente, estão conectadas aos ambientes em que acontecem. Zizek (1991, p.14-16), ao comentar sobre a

obra *A Desagradável Profissão de Jonathan Hoag*, do autor de ficção científica Robert A. Heinlein, aponta como a experiência filtrada é comum. O filósofo compara como exemplo o ambiente de dentro e de fora de um carro:

[...]Para aqueles sentados dentro de um carro, a realidade exterior aparece ligeiramente distante, do outro lado de uma barreira ou tela materializada pelo vidro. Nós percebemos a realidade externa, o mundo de fora do carro, como “outra realidade”, outro modo de realidade, não imediatamente contínuo com a realidade de dentro do carro. A prova desta descontinuidade é o sentimento estranho que nos toma quando subitamente abaixamos a janela e permitimos que a realidade externa nos golpeie com a proximidade da sua presença material. (tradução nossa)

A imersão pode produzir reações emocionais profundas e, sejam positivas ou negativas, sempre impactantes. Ela foi utilizada como forma de manipulação sensorial ao longo da história, criando efeitos ilusórios imersivos com objetivos artísticos, místicos, religiosos ou até políticos (SPITZ, 2021, p.62).

Slater e Wilbur (1997) afirmam que ambientes imersivos tem como objetivo chegar nessa sensação de continuidade e presença. Entretanto, no lugar da presença material mencionada por Žižek, é uma presença gerada e mediada por computador. Porém apesar de ser mediada por tecnologia, a forma como nos afetam não é necessariamente menos relevante.

Entretanto, há elementos paradoxais nesta ação de aproximação. Quando o que era remoto se torna próximo, existe uma sensação de irrealidade, ao mesmo tempo em que procuramos preservar nossa sensação de continuidade de identidade, ou seja, de que quem se encontra nesta nova realidade ainda somos nós mesmos.

Experiências novas ou diferentes tendem a trazer essas sensações paradoxais: colocar um capacete e pilotar uma moto; viajar para um país estrangeiro; sofrer um acidente e nos ferir; a experiência do parto e chegada de um novo bebê. Situações que ao mesmo tempo podem parecer reais e irrealis, e nos esforçamos para pensar “sim, sou eu mesmo estou passando por isto, não é um filme em uma tela”. Esta dinâmica, justamente, torna estas situações marcantes e nos coloca presentes.

Diferente da experiência com uma tela de computador, que necessariamente levanta uma barreira entre a experiência e o experimentador, ambientes imersivos, como a Realidade Virtual, são capazes de usar tecnologia para iludir os sentidos e partir tal barreira.

Imersão pode ser classificada como *física* no que tange respostas a movimento ou outras interações corporais do usuário. Por exemplo, quando

o ambiente muda ou reage (sons, *feedback* háptico, perspectiva visual) às ações do usuário. Porém pode ser classificada como *mental* quando considera-se o engajamento mais profundo, a nível cognitivo, com o ambiente. (MULDERS; BUCHNER; KERRES, 2020)

Enquanto imersão é um efeito direto da tecnologia, a *presença* é um estado psicológico (mental)(SLATER; WILBUR, 1997, p.4). Lee (2004, p.44-47) classifica três tipos de presença: *física*, quando o usuário não percebe diferença entre objetos ou ambientes mediados e físicos; *social*, quando o usuário deixa de perceber artificialidade em atores mediados, tanto humanos quanto simulados e *auto-presença*, quando o usuário experimenta o seu corpo virtual sem perceber artificialidades. Como colocado pelo autor, existem ainda muitas questões importantes a serem exploradas sobre “o mecanismo mental que permite humanos sentirem presença quando usam tecnologias de mídia ou simulação”.

As categorias propostas por Slater e Wilbur (1997) para descrever a imersão em ambientes virtuais são: *inclusão*, *extensão*, *envolvimento* e *vividez*.

Inclusão é a capacidade de bloquear a realidade externa. Se a busca tem por alvo partir a barreira entre experimentador e experiência, a invasão da realidade externa, mesmo que pequena, pode levantar novamente a barreira. Este passo abarca desde o conforto do equipamento até o bloqueio de fontes de iluminação e sons externos, a capacidade de se movimentar dentro daquele ambiente sem sentir limitações (como por exemplo cabos que se enrosquem ao redor do experimentador) e mais.

Extensão denota os múltiplos sentidos estimulados. Atualmente, estas tecnologias tendem a usar principalmente os sentidos de visão e audição, porventura também adicionando algum feedback como vibração de controles, vestimentas com atuadores ou elementos externos capazes de gerar vento, calor ou outras sensações.

Por *envolvimento*, Slater e Wilbur estão se referindo ao ângulo total do campo de visão (figura 3.3¹). Quanto maior o ângulo, mais envolvente a cena apresentada. Uma comparação de modelos comercialmente disponíveis denota faixas de ângulo horizontal entre aproximadamente 90° e 180°, e vertical entre 90° e 120°². A capacidade de rastreamento (*tracking*) dos movimentos da cabeça do usuário também pode adicionar significativamente ao envolvimento, já que é natural fazer este movimento para enxergar o que pode estar fora do campo de visão.

A *vividez* denota a resolução e fidelidade das imagens geradas e experi-

¹Fonte: <<http://doc-ok.org/?p=1414>>, acessado 15 de fev. de 2023.

²Fonte: <<https://risa2000.github.io/hmdgdb/>>, acessado 26 de set. de 2021

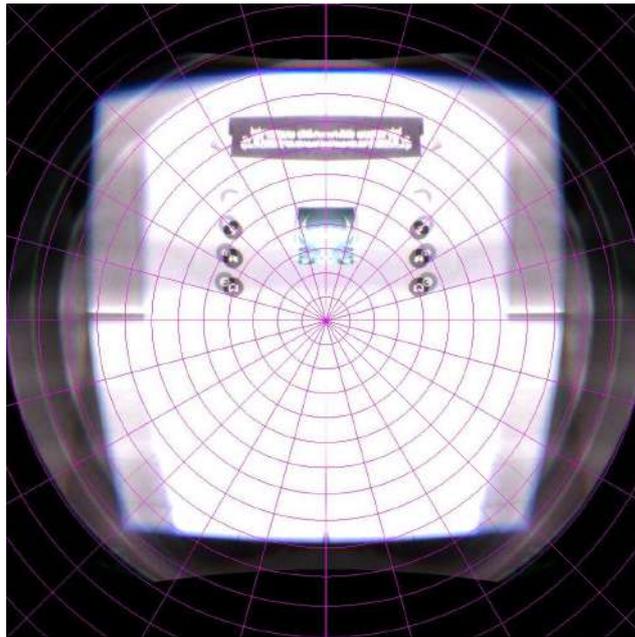


Figura 3.3: Campo de visão do Oculus Rift CV1, simulado com duas imagens do olho direito, foto tirada com uma lente de 10mm.

mentadas pelo usuário. Naturalmente, imagens borradas ou de baixa qualidade podem prejudicar a sensação de imersão em ambientes virtuais. Entretanto, apesar do campo de visão humano ter aproximadamente 120° , grande parte deste campo é de visão periférica. Apenas cerca de 6° do campo de visão é projetado na mácula, que detém o maior número de células cone, responsáveis pela visão de cores e de mais alta resolução. É possível se aproveitar disto para gerar imagens menos fidedignas em partes da imagem, portanto utilizando menos capacidade de processamento. Tal técnica é chamada de *foveated rendering* em inglês.

Os autores ainda afirmam que imersão requer uma auto-representação corporal do experimentador dentro da experiência. Este “corpo virtual”, dizem, é ao mesmo tempo parte do ambiente virtual percebido e representa o experimentador que o está percebendo. Apontam ainda como é extremamente importante a correspondência entre as ações motoras do usuário executadas através de seu corpo virtual e a resposta suficientemente rápida do sistema utilizado. A propriocepção, o sentido humano capaz de reconhecer onde o corpo de encontra no espaço, é essencial para tornar uma experiência imersiva. Se um usuário move sua cabeça e o sistema não responde, ou demora a responder de forma perceptível, ou se o usuário está vendo suas “mãos virtuais” e estas não se mexem como o esperado, a imersão é prejudicada.

Finalmente, há de se considerar o *roteiro* de uma experiência. O mundo físico apresenta uma história, personagens e interações entre estes últimos e objetos. Uma experiência imersiva não pode deixar de apresentar características

similares, ou o usuário não irá se tornar um experimentador daquela experiência. Por exemplo, suponhamos que uma experiência virtual mostra ao usuário suas mãos (virtuais) e objetos que aparentam ser interativos. Se ao tentar tocar nos objetos suas mãos apenas os atravessarem, o usuário provavelmente vai se sentir longe daquela experiência, não imerso.

Conforme exposto por Mulders, Buchner e Kerres (2020, p.214), há achados conflitantes em estudos sobre o papel da imersão em RV e seu impacto no aprendizado. Desta forma, é importante se considerar o objetivo da experiência e fatores educacionais primeiramente, pensando-se cuidadosamente sobre o papel da imersão necessário.

3.3

Estratégias Educacionais

Experiências imersivas que informam ou educam podem ser classificadas de acordo com estratégias educacionais utilizadas.

Akdeniz (2016, p.65) agrupa estratégias educacionais com a seguinte taxonomia: *apresentação, descoberta, investigação e colaboração* (figura 3.4).

Estratégias de *apresentação* são baseadas na teoria do *aprendizagem significativa* de Ausubel. Ideias mais gerais devem ser apresentadas primeiro e em seguida detalhadas. Materiais devem se compor sobre materiais apresentados previamente. Alguns pontos-chave são: (1) centrada no instrutor; (2) utiliza raciocínio dedutivo; (3) instrução informativa; (4) começa do abstrato em direção ao concreto; (5) pré-processamento de informações.

Descoberta se baseia na teoria construtivista de ensino de Bruner, segundo a qual o pensamento se forma através do desenvolvimento cognitivo, permitindo assim extrapolar os dados e prever resultados. Pressupõe-se que o indivíduo constrói seu próprio conhecimento, não simplesmente absorve informações. Não se deve organizar as informações por eles. Pode-se denotar as seguintes características: (1) centrado no aluno; (2) utiliza raciocínio indutivo; (3) começa do concreto para desenvolver o abstrato; (4) utiliza exemplos, reforço dos exemplos, recompensas e penalidades. (AKDENIZ, 2016, p.65)

Estratégias de *investigação* se baseam principalmente nos preceitos de Suchman e Dewey. Esta abordagem se constrói ao redor dos questionamentos, ideias e observações dos estudantes. Ideias devem ser respeitosamente questionadas, examinadas e testadas, utilizando-se os sentidos para tal (visão, tato, olfato, paladar, etc.) Como exemplo de estruturação do aprendizado, pode-se estruturar uma investigação da seguinte forma: problemas podem ser confrontados, descritos claramente, dados coletados, hipóteses postuladas e testadas e resultados reportados. Pontos-chave incluem: (1) centrado no aluno; (2) uti-

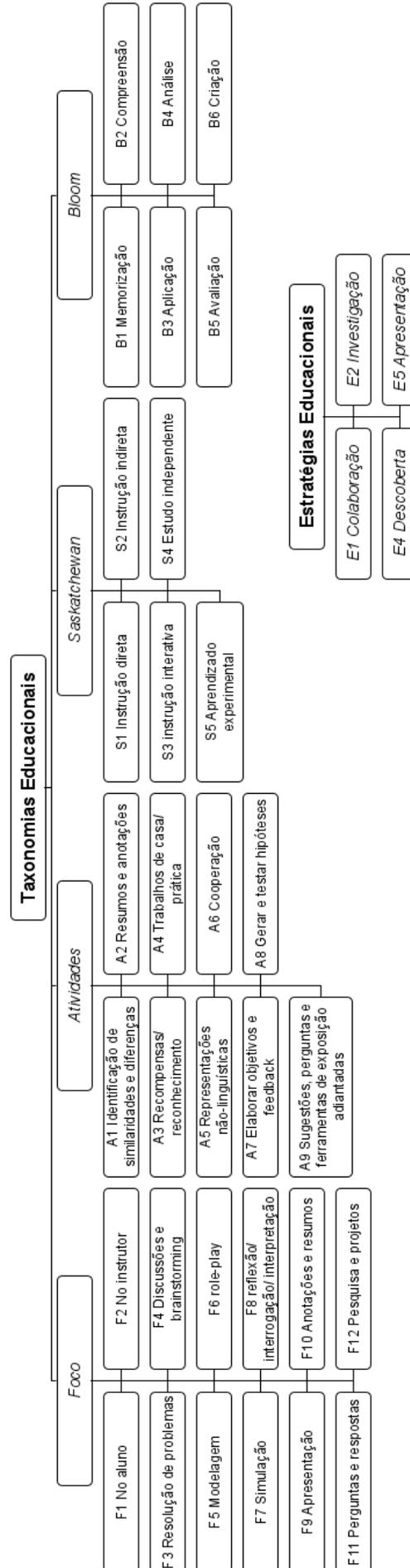


Figura 3.4: Estratégias e taxonomias educacionais segundo Akdeniz (2016) (rótulos adicionados.)

liza raciocínio indutivo e dedutivo; (3) envolve pensamento de ordem superior (maior esforço cognitivo) como análise, síntese, avaliação, reflexão, criação; (4) experimentação; (5) solução de problemas. (AKDENIZ, 2016, p.66-67)

Finalmente, a *colaboração* coloca estudantes em pequenos grupos para resolver problemas em conjunto. Requer interdependência positiva, interação em pessoa, responsabilidade individual, habilidades de trabalho em grupo e auto-avaliação do grupo. Pontos-chave são, entre outros: (1) centrado no aluno; (2) interação em grupo; (3) compartilhamento de trabalho; (4) valores democráticos; (5) estudos de caso e resolução de problemas; (6) análise, síntese, avaliação.

3.3.1

Taxonomias educacionais

É possível classificar estratégias segundo algumas taxonomias na literatura (figura 3.4). (AKDENIZ, 2016, p.69)

A taxonomia de educação de Saskatchewan divide-as em: (1) instrução direta (direcionada pelo professor), (2) instrução indireta (centrada no aluno), (3) instrução interativa (baseada em discussões), (4) estudo independente (colocando o aluno em posição de planejar o próprio aprendizado) e (5) aprendizado experimental (processo indutivo, centrado no aluno e orientado a atividades). (AKDENIZ, 2016, p.69)

A taxonomia de Bloom apresenta as seguintes estratégias: (1) memorização, (2) compreensão, (3) aplicação, (4) análise, (5) avaliação e (6) criação. (AKDENIZ, 2016, p.71)

Se vistas pela perspectiva de atividades, estratégias incluem: (1) identificação de similaridades e diferenças, (2) resumos e anotações, (3) recompensas e reconhecimento pelo esforço, (4) trabalhos de casa e prática, (5) representações não-linguísticas (imagens, símbolos, modelos), (6) cooperação, (7) elaborar objetivos e *feedback*, (8) gerar e testar hipóteses e (9) sugestões, perguntas e ferramentas de exposição adiantadas (expor o aluno à informação antes de aprender sobre ela). (AKDENIZ, 2016, p.77)

Estratégias educacionais podem ainda ser classificadas de acordo com seu foco: (1) no aluno ou (2) no instrutor; ou de acordo com seu processo (como são executadas): (1) resolução de problemas, (2) discussões e *brainstorming*, (3) modelagem/ *role-play*/ simulação, (4) encorajando reflexão/ interrogação/ interpretação, (5) apresentação, (6) perguntas e respostas, (7) anotações e resumos, (8) pesquisa e projetos. (AKDENIZ, 2016, p.86-87)

3.4

Imaginação

Akdeniz (2016, p.74) argumenta que RV requer que o usuário se coloque em um estado mental que permita elaboração de pensamentos e o aprendizado, já que exige atenção e criação de modelos mentais sobre a experiência. As capacidades de visualização dos sistemas podem ensinar sobre conceitos abstratos, usando estratégias não usuais (por exemplo, mudança de escala de espaço e tempo ou ainda pontos de vista impossíveis no mundo físico). O autor sugere que, dependendo dos objetivos educacionais, a imaginação deve ser estimulada, buscando-se o equilíbrio entre experiência direta, informações sensoriais e conhecimento prévio. Muitas vezes, entretanto, em experiências de RV, se utiliza interação e imersão e se deixa de lado a imaginação. Isso pode se dever ao fato da maior parte das pesquisas no campo serem focadas nos aspectos tecnológicos e não no design da experiência pelo seu caráter educativo.

4

Metodologia

Este estudo tem como objetivo selecionar trabalhos que utilizam realidade virtual por computador, que informem os participantes sobre algum tema complexo, que reportem resultados empíricos e que tragam informações suficientes para permitir análises quanto ao impacto na compreensão de tais temas por parte dos participantes dos estudos. A partir destas análises, serão extrapoladas recomendações quanto à criação de aplicações de realidade virtual eficazes para a compreensão de temas complexos.

Como colocado por Snyder (2019, p.333) deve ser prioridade perene construir-se uma pesquisa e relacioná-la com conhecimento existente. Porém, em especial em uma era de avanços tecnológicos rápidos com produção de inúmeras pesquisas e trabalhos, esta é uma tarefa cada vez mais complexa. Portanto, uma revisão de literatura bem conduzida se mostra mais relevante que nunca, por ser uma maneira de coletar e sintetizar o estado da arte, capaz de criar uma fundação para o avanço do conhecimento. Ou, como colocado pela autora, “uma revisão de literatura pode endereçar questões de pesquisa com um poder que nenhum estudo único tem” (tradução nossa).

Snyder (2019, p.335) descreve ainda a abordagem semi-sistemática de revisão de literatura como algo projetado para a análise de tópicos abordados de formas díspares por grupos diferentes, até mesmo de campos do conhecimento diversos. Este é o caso das tecnologias de realidade mediada por computador. Ainda segundo a autora, uma revisão semi-sistemática também frequentemente observa o progresso de pesquisas em uma área ou o progresso de um mesmo tópico em diversas áreas, provendo um entendimento de áreas complexas e sendo útil para detectar temas, questões em comum ou até para identificar componentes de um novo conceito teórico e criar uma agenda para pesquisas subsequentes. Porém, argumenta, o processo de pesquisa deve ser transparente para permitir avaliações dos julgamentos feitos durante a revisão, o que pretendemos suprir no presente capítulo, em especial no que tange ao design da revisão de literatura.

São seguidos os métodos que Creswell (2007, p.39) chama de métodos de pesquisa mistos sequenciais. Estratégias de métodos mistos permitem a integração de dados qualitativos (como as análises empíricas de resultados) e quantitativos (como as análises das metodologias e estratégias dos experimentos). Métodos mistos sequenciais são usados quando o pesquisador procura expandir os achados de um método com os de outro método (por exemplo,

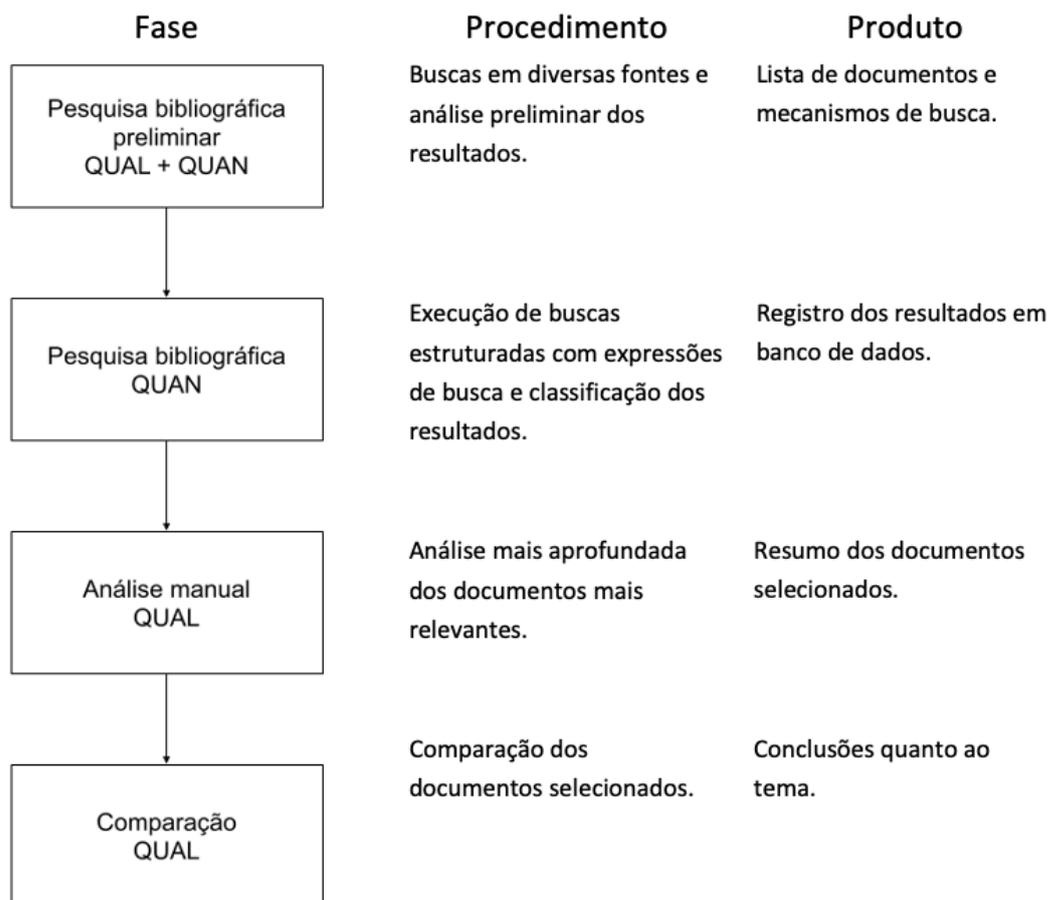


Figura 4.1: Mapeamento do método misto sequencial, utilizando a notação de métodos mistos de Creswell (2013, Capítulo 10)

iniciando-se com um método quantitativo, seguido de outro método qualitativo), esta sequência é ilustrada na Figura 4.1, seguindo a notação dos métodos mistos. (CRESWELL, 2007, p.245-247) (CRESWELL, 2013, Capítulo 10)

Esta metodologia foi concebida de forma original, mas se utiliza de ferramentas livremente disponíveis, e espera-se que possa ser replicada com relativa facilidade para outros temas e palavras-chave.

4.1

Pesquisa Bibliográfica Preliminar

Para definir quais mecanismos de busca seriam utilizados, adotou-se os seguintes critérios:

1. Possibilidade de sintaxes avançadas de busca (operadores lógicos como AND e OR, ou maneiras de requerer palavras-chave específicas no resultado).

2. Opção de exportação do resultado para arquivo de dados (por exemplo, CSV ou Excel).
3. Consistência e reprodutibilidade dos resultados das buscas.
4. Número razoável mínimo de resultados para as palavras-chave principais selecionadas, pelo menos algumas centenas de resultados.

Gusenbauer e Haddaway (2020, p.182) fizeram uma investigação comparando 28 mecanismos de busca de artigos acadêmicos. Segundo o trabalho, sínteses de evidências como revisões sistemáticas são vistas como a fonte mais confiável de evidências para prática e políticas, mas requerem a estratégia e os sistemas corretos de busca. Como referência, os autores analisaram (p. 188) os seguintes bancos de dados e mecanismos de busca: CINAHL, ClinicalTrials.gov, Cochrane Library, EbscoHost, Embase, ERIC, Google Scholar, LILACS, ProQuest, PsycINFO, PubMed, ScienceDirect, Scopus, SportDiscus, TRID, Web of Science, AMiner, ACM, arXiv, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), CiteSeerX, Digital Bibliography & Library Project (DBLP), Directory of Open Access Journals (DOAJ), IEEE Xplore Digital Library, JSTOR, Microsoft Academic, Semantic Scholar, SpringerLink, Wiley Online Library, WorldCat e WorldWideScience.

Para a presente pesquisa, foram buscados trabalhos que se encaixassem nos seguintes critérios:

1. Publicados a partir de 2016. Este ano foi aproximadamente quando foram popularizados *headsets* de realidade virtual para consumidores finais como o Oculus Rift CV1¹. Como os preços caíram exponencialmente para dispositivos de boa qualidade, isso acabou permitindo uma menor barreira de entrada para trabalhos de pesquisa.
2. Utilizaram uma EIRV.
3. Tiveram participantes e relatos sobre o impacto da experiência sobre eles.
4. Buscam explicar ou educar sobre temas complexos.

¹As primeiras versões do Oculus ("Dev Kits") foram lançadas em 2012 através do site Kickstarter, com uma campanha que levantou 2,4 milhões de dólares americanos. Em 2014, a empresa foi adquirida pelo Facebook, por 2 bilhões de dólares. No ano de 2016, ela finalmente disponibilizou para o mercado consumidor o Oculus Rift (CV1). Disponível em: <<https://arstechnica.com/gaming/2022/10/what-happened-to-the-virtual-reality-gaming-revolution/>>. Acessado em: 10 de set. de 2022.

4.1.1 IEEE Xplore Digital Library

O IEEE Xplore Digital Library é um mecanismo de busca da organização IEEE (Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos) e seus parceiros², provendo acesso a mais de 5 milhões de documentos, incluindo journals, papers, padrões técnicos, livros e cursos. Ele provê uma ferramenta de busca avançada³ que foi utilizada para efetuar a pesquisa, e permite que os resultados sejam exportados. As palavras

Por padrão, o site ordena os resultados por relevância (ou seja, pela correspondência dos resultados com os termos de busca⁴). O site ainda permite selecionar quantos artigos mostra por página, marcar página a página artigos selecionados e exportá-los (Figura 4.2). Caso não sejam selecionados, a opção de exportação (export) irá exportar os primeiros 2000 resultados em um arquivo do tipo CSV (comma separated values, ou seja, um arquivo de texto, com valores separados por vírgula, que pode facilmente ser lido por outros tipos de software como planilhas eletrônicas ou bancos de dados).

Para obter resultados, se utilizou o modo de busca avançada, com o comando

```
((("Full Text Only":"virtual reality") AND ("Abstract": participants)))
```

Desta forma, se procura o termo “realidade virtual” (em inglês) em todo o texto (título, resumo, corpo, etc.) e resumos que mencionem a palavra “participantes” para melhor aderência dos resultados aos critérios mencionados acima.

A seguir, aplicou-se o filtro de datas, limitando os resultados a partir do ano de 2016, totalizando 1.839 resultados. Estes foram exportados pela funcionalidade de exportação da plataforma (“Export”), disponibilizadas através de um arquivo CSV⁵. As colunas de dados exportadas incluem:

- Título do documento.
- Título da publicação.
- Ano da publicação.

²IEEE. IEEE Xplore Digital Library. Sobre o IEEE Xplore. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/overview-of-ieee-xplore/about-ieee-xplore>>. Acessado em: 20 de nov. de 2021.

³Disponível em <<https://ieeexplore.ieee.org/search/advanced/command>>

⁴IEEE. IEEE Xplore Digital Library. Xplore Help. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/Xplorehelp/searching-ieee-xplore/search-results-page>>. Acessado em: 9 de mar. de 2022.

⁵CSV, ou *Comma Separated Values* é um arquivo de texto, com resultados separados em linhas e colunas, estas separadas por vírgula, ponto-e-vírgula ou outro separador.

IEEE.org | IEEE Xplore | IEEE SA | IEEE Spectrum | More Sites | Cart | Welcome Ronnie Paskin | Sign Out

Access provided by: PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO | Sign Out

IEEE Xplore® Browse ▾ My Settings ▾ Help ▾

All [Search] ADVANCED SEARCH

Search within results [Search] Download PDFs ▾ Per Page: 25 ▾ Export ▾ Set Search Alerts ▾ Search History

Showing 1-25 of 1,839 for (((Full Text Only: virtual reality) AND (Abstract: participants)))
 Filters Applied: 2016 - 2022 ×

Conferences (1,390) Journals (388) Early Access Articles (39) Magazines (18)
 Books (3) Standards (1)

Show

- All Results
- Subscribed Content ?
- Open Access Only

Year

Single Year | Range

2016 | 2022

From: 2016 To: 2022

Author ▾
 Affiliation ▾
 Publication Title ▾
 Publisher ▾

Select All on Page

Sort By: Relevance ▾

- Relevance
- Newest First
- Oldest First
- Most Cited [By Papers]
- Most Cited [By Patents]
- Most Popular
- Publication Title A-Z
- Publication Title Z-A

Participant-dependent and participant-independent classification of emotion signals

Suhas Ganesh; Abhijit Mahesh Chinchale; Dhanush Kanchan; Sanjeev Kubakaddi
 2017 International Conference on Wireless Signal Processing and Networking (WISPNET)
 Year: 2017 | Conference Paper | Publisher: IEEE
 Cited by: Papers (3)

Abstract HTML PDF CC

Effects of Virtual Human Appearance Fidelity on Emotion Contagion in Affective Inter-Personal Simulations

Matias Volante; Sabarish V. Babu; Himanshu Chaturvedi; Nathan Newsome; Elham Ebrahimi; Tania Roy; Shaundra B. Dally; Tracy Fasolino
 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics
 Year: 2016 | Volume: 22, Issue: 4 | Journal Article | Publisher: IEEE
 Cited by: Papers (62)

Figura 4.2: Resultados do site IEEE Xplore e opções de ordenação.

- Resumo.
- Link para detalhes.
- Palavras-chave.
- Número de citações.
- Identificador do documento.

4.1.2 Scopus

O Scopus é um banco de dados, gerenciado pela empresa Elsevier, com curadoria e dados expandidos, envolvendo diversas disciplinas⁶. O site disponibiliza uma ferramenta de busca avançada⁷ capaz de utilizar expressões booleanas.

⁶ELSEVIER. Scopus. Sobre o Scopus. Disponível em: <https://www.elsevier.com/solutions/scopus>. Acessado em: 20 de nov. de 2021.

⁷Disponível em <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=advanced>

O resultado pode ser facilmente exportado selecionando os resultados desejados (ou “All” para todos) e logo após através da opção “CSV export” e ainda oferece uma boa gama de opções de exportação, selecionando quais campos serão exportados (Figura 4.3). Entretanto, a ferramenta limita exportação à 2.000 resultados, que podem ser ordenados por número de citações (maiores primeiro).

Para obter resultados, se utilizou o modo de busca avançada, com o comando

```
ALL("virtual reality") AND ABS(participants) AND PUBYEAR
> 2015
```

Desta forma, se procura o termo “realidade virtual” (em inglês) em todo o texto (título, resumo, corpo, etc.) e resumos que mencionem a palavra “participantes”, publicados depois de 2015⁸ para melhor aderência dos resultados aos critérios mencionados acima. O resultado totalizou 20.942 documentos. O sistema, entretanto, não permite exportar mais de 2.000 documentos.

Usando o termo “realidade virtual” em títulos, resumos e palavras-chave⁹ teve 9.845 resultados, ainda não sendo possível exportá-los. Mesmo limitando apenas ao título¹⁰, obteve-se 4.000 documentos.

Como forma de limitar o resultado, poder-se-ia manter o termo de busca inicial e exportar apenas os 2.000 resultados com maior número de citações, por exemplo. Entretanto, seriam analisados apenas metade dos resultados obtidos. Optou-se por não incluir a análise desses resultados no presente trabalho.

4.1.3

Outros mecanismos de busca

Diversos mecanismos de busca não oferecem ou não foi possível achar maneiras eficientes de exportar os resultados para análise automatizada. Foram testados: Microsoft Academic, ProQuest, PubMed e Web of Science. Por questão de limites de tempo e recursos, decidiu-se prosseguir apenas com os resultados oferecidos pelo site IEEE Xplore.

⁸A documentação da ferramenta apenas menciona a possibilidade de busca *após* o ano, e não “a partir de”. Verificando os resultados, foi possível inferir que para buscar resultados a partir de 2016, é preciso usar a sintaxe supracitada. Disponível em <https://service.elsevier.com/app/answers/detail/a_id/11236/supporthub/scopus/>. Acessado em: 9 de out. de 2022.

⁹Comando: “TITLE-ABS-KEY("virtual reality") AND ABS (participants) AND PUBYEAR > 2015”

¹⁰Comando: “TITLE("virtual reality") AND ABS (participants) AND PUBYEAR > 2015”

The screenshot shows the Scopus search interface. At the top, there is a search bar and navigation links. Below the search bar, a notification banner states: "The new, enhanced version of the search results page is available. Give the new page a try and share any feedback before it is finalized." Below this, the search results are displayed for the query: "ALL ('virtual reality') AND ABS (participants) AND PUBYEAR > 2015". The results are sorted by "Cited by (highest)".

The search results table is as follows:

Document title	Authors	Year	Source	Cited by
1 Internet-based vs. face-to-face cognitive behavior therapy for psychiatric and somatic disorders: an updated systematic review and meta-analysis <i>Open Access</i>	Carlbring, P., Andersson, G., Cuijpers, P., Riper, H., Hedman-Lagerlöf, E.	2018	Cognitive Behaviour Therapy 47(1), pp. 1-18	494
2 The efficacy of smartphone-based mental health interventions for depressive symptoms: a meta-analysis of randomized controlled trials <i>Open Access</i>	Firth, J., Torous, J., Nicholas, J., (...), Rosenbaum, S., Sarris, J.	2017	World Psychiatry 16(3), pp. 287-298	412

Figura 4.3: Resultados do site Scopus.

4.2

Análise quantitativa automatizada dos resultados

Os resultados exportados pelos processos da fase anterior são analisados, a fim de criar uma lista de documentos categorizados por potencial relevância. Para otimizar este processo, se usou um mecanismo de aprendizado de máquina não supervisionado, através do uso da ferramenta Orange Data Mining¹¹.

Aprendizado de máquina é uma técnica de ciência de dados que permite que computadores aprendam sem serem previamente programados para tal, permitindo ainda lidar com dados de forma mais eficiente. O aprendizado supervisionado é uma forma de aprendizado de máquina utilizada quando os dados de entrada consistem de exemplos rotulados com o resultado desejado. Algoritmos são capazes de aprender algum tipo de padrão e aplicá-lo à novos dados, ou a dados que tenham sido segregados para teste do aprendizado. (MAHESH, 2020, p. 381)

Em contraponto, o aprendizado não-supervisionado é o uso de algoritmos em que os dados não são previamente rotulados, ou seja, não há exemplos dos resultados. Os algoritmos decidem sozinhos como as características dos dados

¹¹UNIVERSITY OF LJUBLJANA, Faculty of Computer and Information Science, Slovenia. Disponível em <<https://orangedatamining.com/>>. Acessado em: 20 de jan. de 2022.

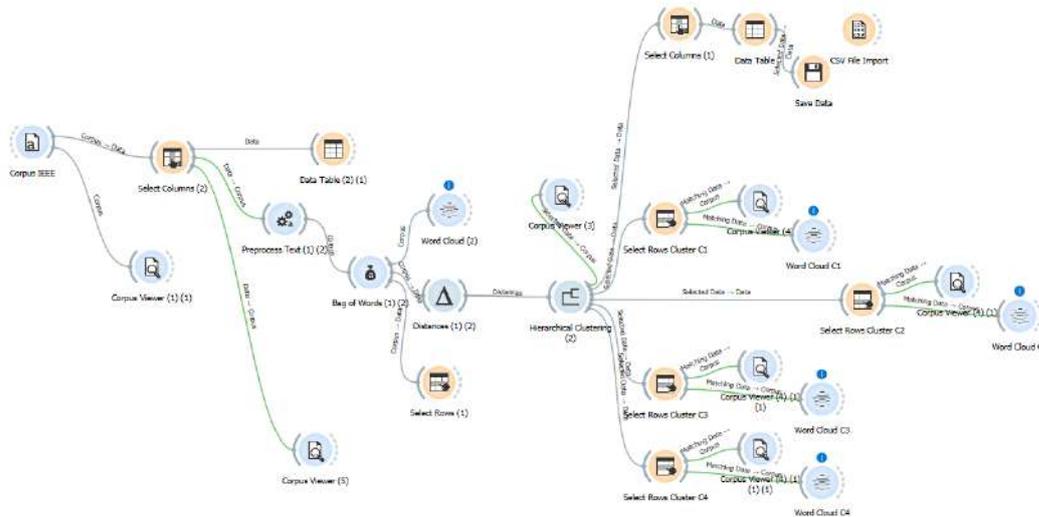


Figura 4.4: Exemplo de programação visual na ferramenta Orange Data Mining.

devem ser usadas, principalmente com o objetivo de criar grupos relacionados e simplificar as características relevantes para agrupamento. (MAHESH, 2020, p. 383)

O software Orange Data Mining, criado pela Faculdade de Ciência da Computação e Informação da Universidade de Ljubljana (Eslovênia), é uma ferramenta baseada em componentes de aprendizado de máquina, projetada para usuários tanto avançados quanto iniciantes, e oferece uma tela de programação visual relativamente fácil de se utilizar (figura 4.4). (DEMŠAR et al., 2004, p. 537)

Utilizando esta ferramenta, é possível importar os resultados exportados anteriormente. Os seguintes passos foram utilizados para categorizar estes dados:

1. Importação de dados, através do bloco *Corpus*, diretamente de planilhas exportadas no passo anterior.
2. Seleção de colunas relevantes, através do bloco *Select Columns*. Se utilizou colunas (dados) como: Título do documento, resumo (abstract), palavras-chave e autores, dependendo do disponível em cada exportação. (Figura 4.5)
3. Pré-processamento de texto, através do bloco *Preprocess Text*. Este passo normaliza palavras, remove pontuação, palavras irrelevantes, conjunções, etc. (Figura 4.6) Com a prática, se percebeu que se obtém melhor agrupamento se removidas palavras que ocorrem muito frequentemente ou

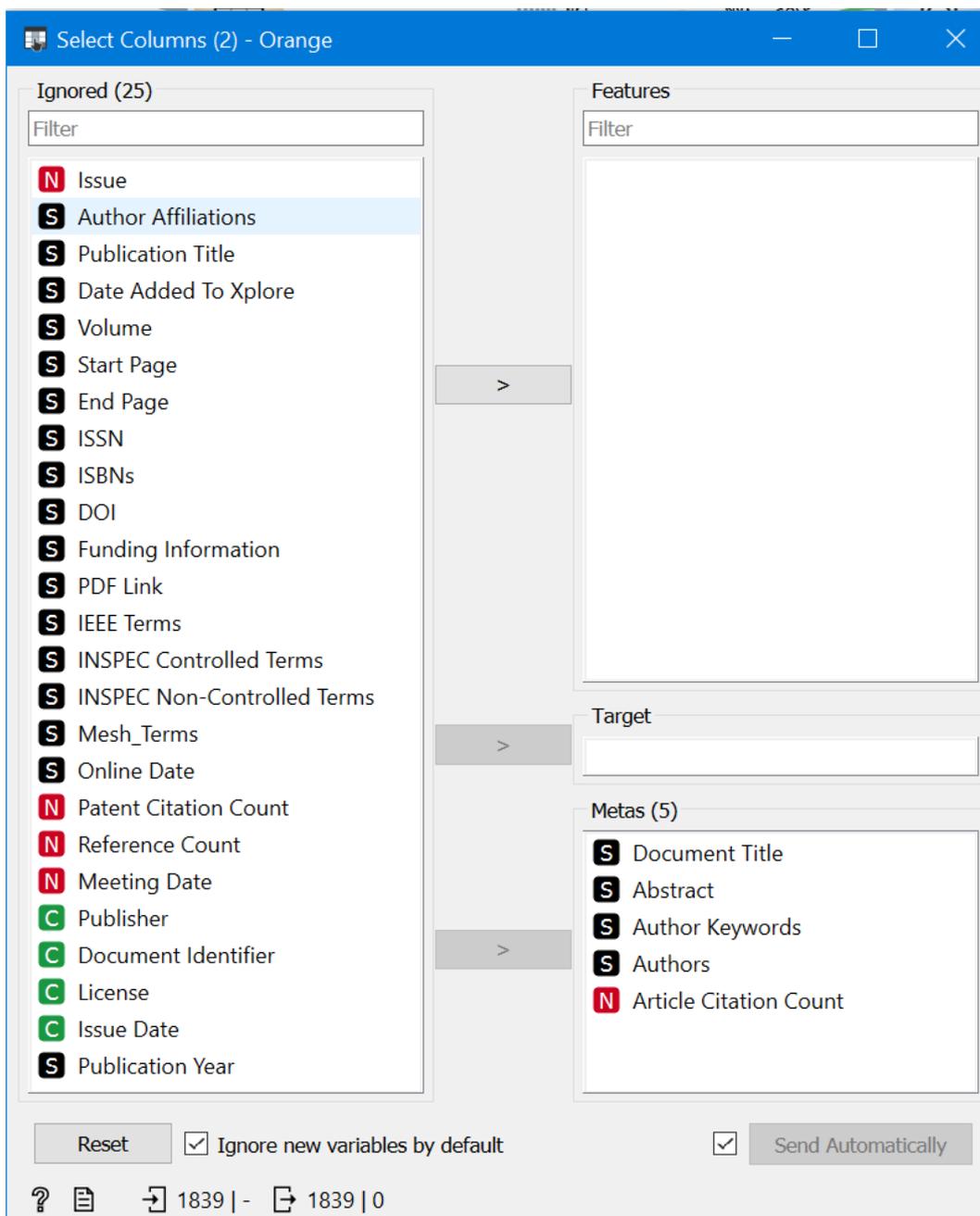


Figura 4.5: Seleção de colunas no software Orange Data Mining.

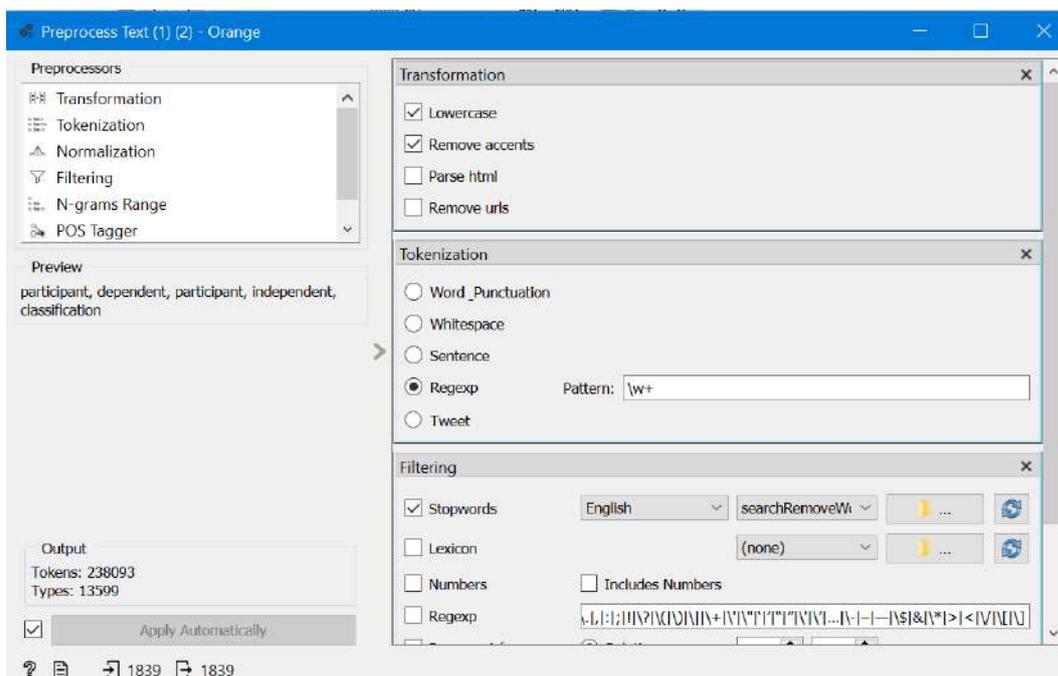
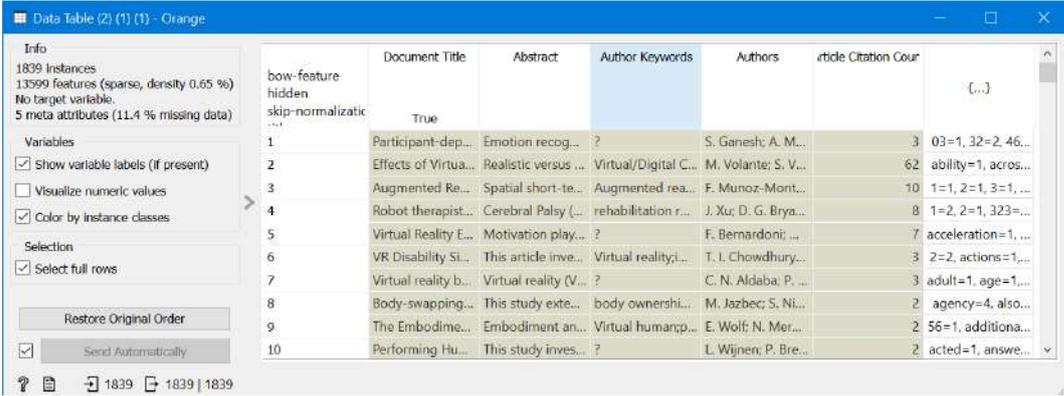


Figura 4.6: Pré-processamento de texto no software Orange Data Mining.

genéricas relativamente aos termos de pesquisa. Por exemplo, as seguintes palavras foram retiradas: *participants*, *virtual*, *reality*, *environment*, *environments*, *using*, *user*.

4. O bloco *Bag of Words* (saco de palavras) é utilizado para criar um modelo com contagem das palavras em cada documento. O resultado desta contagem pode ser visto com um bloco Data Table (Figura 4.7), e ajuda ainda em refinar a lista de palavras removidas pelo bloco anterior, de pré-processamento de texto.
5. O resultado do passo anterior é enviado ao bloco *Distances* (distâncias), que computa as distâncias entre dados de um conjunto. Estas distâncias criam uma matriz, que será usada no passo subsequente.
6. A partir da matriz das distâncias entre palavras, se usa o bloco *Hierarchical Clustering* (agrupamento hierárquico). Este é o passo crucial, que agrupa os documentos em conjuntos, relacionados de acordo com os dados dos passos anteriores e mostra estes grupos em um dendograma (Figura 4.8). É possível escolher o agrupamento de diversas maneiras; por experimentação, pareceu mais eficaz se dividir em dez agrupamentos, proporcionando uma distribuição mais homogênea em termos de contagem por agrupamento¹².

¹²Observou-se que sempre surgiu um agrupamento maior, aparentemente mais genérico, não obstante o número de agrupamentos definido.



	Document Title	Abstract	Author Keywords	Authors	Article Citation Count	
1	Participant-dep...	Emotion recog...	?	S. Ganesh; A. M...	3	03=1, 32=2, 46...
2	Effects of Virtua...	Realistic versus ...	Virtual/Digital C...	M. Volante; S. V...	62	ability=1, across...
3	Augmented Re...	Spatial short-te...	Augmented rea...	F. Munoz-Mont...	10	1=1, 2=1, 3=1, ...
4	Robot therapist...	Cerebral Palsy (...)	rehabilitation r...	J. Xu; D. G. Brya...	8	1=2, 2=1, 323=...
5	Virtual Reality E...	Motivation play...	?	F. Bernardoni; ...	7	acceleration=1, ...
6	VR Disability Si...	This article inve...	Virtual reality;	T. I. Chowdhury...	3	2=2, actions=1, ...
7	Virtual reality b...	Virtual reality (V...	?	C. N. Aldaba; P. ...	3	adult=1, age=1, ...
8	Body-swapping...	This study exte...	body ownershi...	M. Jazbec; S. Ni...	2	agency=4, also...
9	The Embodime...	Embodiment an...	Virtual humanp...	E. Wolf; N. Mer...	2	56=1, additiona...
10	Performing Hu...	This study inves...	?	L. Wijnen; P. Bre...	2	acted=1, answe...

Figura 4.7: Tabela de dados demonstrando parcialmente o resultado do bloco *Bag of Words*.

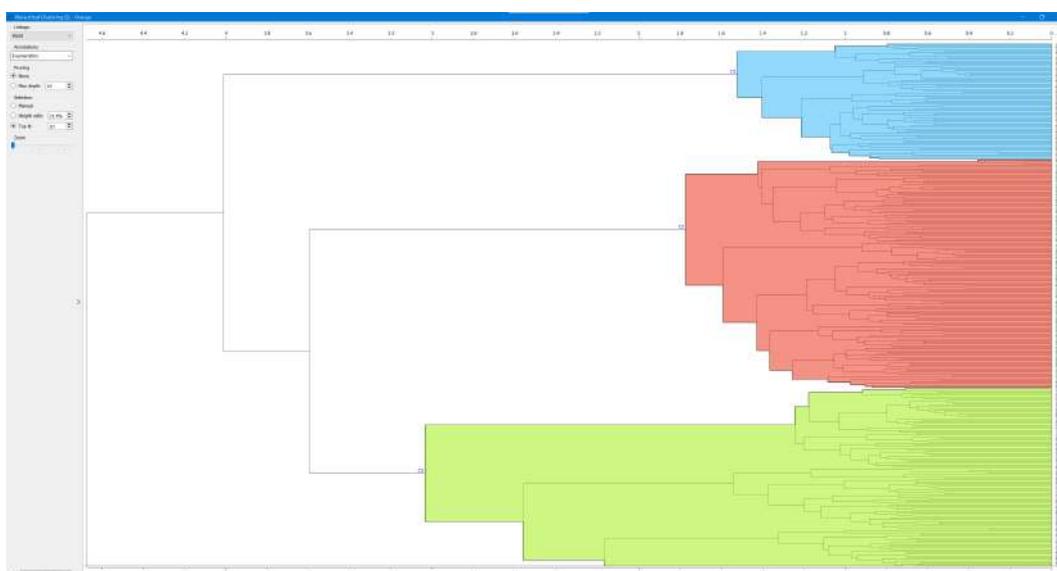


Figura 4.8: Agrupamento hierárquico com o dendrograma mostrando agrupamentos diferentes.

7. Uma vez agrupados, o bloco *Select Columns* é utilizado novamente, selecionando as colunas de dados que interessam, por exemplo: rótulo do cluster, título, resumo, palavras-chave e autores.
8. A partir da seleção, pode-se usar os blocos *Data Table* e *Save Data*, em sequência, para exportar os dados em uma planilha que terá os documentos selecionados rotulados com seus respectivos grupos.

O processo descrito acima poderia ser replicado de forma análoga para outras fontes de dados

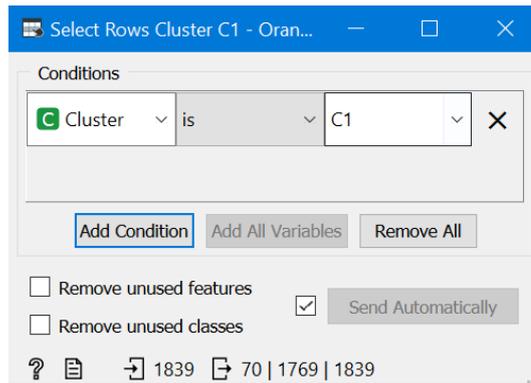


Figura 4.9: Seleção de dados de apenas um agrupamento (C1), filtrando 70 resultados de um total de 1839.

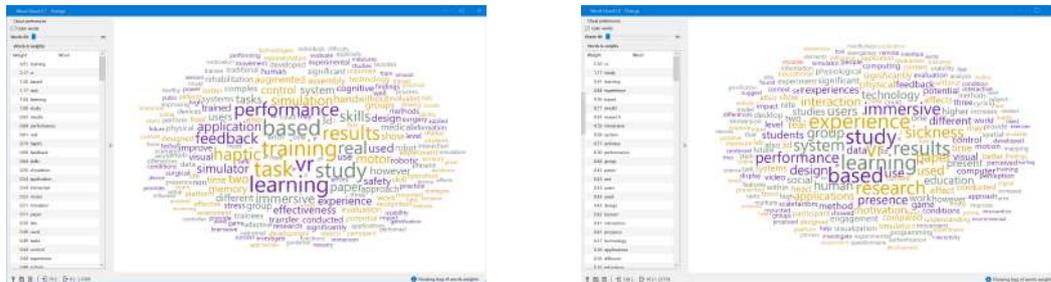


Figura 4.10: Comparação da nuvem de palavras de dois agrupamentos: C1 e C2.

4.3

Análise qualitativa dos agrupamentos de resultados

O próximo passo teve como objetivo utilizar os agrupamentos gerados automaticamente para tornar mais eficiente a seleção dos documentos.

Primeiramente, utilizando novamente o software Orange Data Mining, através dos blocos *Select Rows* se faz uma separação dos dados de cada agrupamento (figura 4.9). Em seguida, criamos um *Word Cloud*, ou nuvem de palavras, que é uma representação gráfica da frequência de cada palavra. Isto permite uma interpretação visual do tipo de documento que foi agrupado. Por exemplo, pela figura 4.10 podemos perceber que o grupo C1 tendeu a agrupar mais documentos relativos a temas como treinamento e feedback háptico, enquanto o grupo C2 tendeu a agrupar documentos relativos a palavras-chave como aprendizado e imersão. A partir disso, podemos decidir se um ou outro agrupamento parece mais ou menos atrativo para a análise qualitativa.

A partir das nuvens de palavras e da busca acima, ordenamos cada agrupamento em ordem de interesse, e fizemos duas amostragens. A primeira amostragem foi ordenada pelo número de citações de cada documento. A segunda amostragem foi aleatória, para comparação. Os títulos e resumos disponíveis na planilha foram analisados para os primeiros 5 resultados de

cada agrupamento e amostragem, e rotulados segundo os seguintes critérios: (1) apresenta uma experiência imersiva de realidade virtual (EIRV), (2) resultados empíricos são reportados sobre participantes da experiência. No caso de satisfazer apenas o primeiro critério, foi rotulado com a cor amarela e o número um, no caso de ambos, com a cor verde e o número dois. No caso de não satisfazer critério algum, é rotulado com a cor vermelha e o número 0. A tabela 4.1 apresenta as classificações dos documentos de cada grupo.

Agrupamento	Número total de resultados	Aderentes	Não aderentes
C9	54	9	1
C2	138	8	2
C7	50	8	2
C6	70	7	3
C1	70	6	4
C3	138	6	4
C10	853	6	4
C8	329	5	5
C4	97	3	7
C5	40	1	9

Tabela 4.1: Classificações dos itens dentro dos agrupamentos, ordenados por quantidade de resultados aderentes aos critérios.

Subsequentemente, foi possível então focar apenas naqueles agrupamentos que se mostraram mais relevantes (ou seja, apresentaram mais resultados dentro dos critérios expostos), facilitando assim seleção dos documentos para análise qualitativa. Os agrupamentos C9, C2, C7 e C6, portanto, foram selecionados, somando um total de 312 resultados filtrados para análise¹³, de um total original de 1839 documentos.

4.4

Análise qualitativa dos resultados filtrados

A partir dos agrupamentos selecionados (C2, C7, C6 e C9), analisou-se os títulos e resumos dos 312 itens, classificando-os segundo os critérios anteriores acrescidos de mais um critério: de educar ou explicar sobre informações complexas ou científicas. O resultado está representado na tabela 4.2. Nessa fase, como é possível observar, o agrupamento C7 acabou sendo descartado.

¹³Os resultados da tabela 4.1 utilizaram os totais somados da amostragem por número de citações e da aleatória (5 documentos por cada método, totalizando 10 documentos por agrupamento). Em testes anteriores da metodologia, a amostragem por número de citações pareceu suficiente para seleção dos grupos, mas isso não foi consistente em última análise, portanto optando-se por considerar essa soma.

Um total de 69 itens desses agrupamentos foram considerados para a próxima fase de análise.

Agrupamento	Aderentes e educativos	Aderentes	Semi-aderentes	Não aderentes	Total
C2	47	79	11	1	138
C6	14	34	9	13	70
C9	8	31	5	10	54
C7	0	46	0	4	50
Total	69	190	25	28	312

Tabela 4.2: Classificações de resultados nos agrupamentos selecionados, conforme critérios de aderência.

Os 69 trabalhos aderentes aos critérios e educativos foram verificados em sua íntegra, diretamente na IEEE Xplore Digital Library, através dos mecanismos de acesso da biblioteca da PUC-Rio¹⁴, e novamente classificados segundo dois critérios de descarte e um de aceitação: (0) caso não fossem trabalhos com EIRVs¹⁵; (1) caso não tivessem o objetivo de ensinar ou explicar sobre um tema complexo¹⁶ e (2) aderente, ou seja, explicam um tema complexo com uma EIRV. O resultado dessa fase é apresentado na tabela 4.3, com os números absolutos e a porcentagem relativa ao total de cada agrupamento.

Agrupamento	Total	Não EIRV	Não apresentam tema complexo	Aderentes
C2	47	2 (4.3%)	14 (29.8%)	33 (70.2%)
C6	14	1 (7.1%)	8 (57.1%)	6 (42.9%)
C9	8	1 (12.5%)	6 (75.0%)	2 (25.0%)
Total	69	4 (5.8%)	28 (40.6%)	41 (59.4%)

Tabela 4.3: Classificações de resultados nos agrupamentos selecionados, conforme critérios de aderência.

Finalmente, foram verificados quais dos 41 trabalhos apresentam elementos suficientes sobre a própria experiência para uma subsequente análise detalhada em termos do design da experiência. Tais elementos (ver o capítulo 3) são listados abaixo:

¹⁴Disponível em <<https://www.dbd.puc-rio.br/>>, acessado 10 de abr. de 2022

¹⁵Pôde-se perceber que nem sempre é auto-evidente pelo título e resumo se o trabalho é sobre realidade virtual ou não, é necessário verificar a íntegra do documento.

¹⁶Um exemplo frequente foi no caso de testes de usabilidade da tecnologia, e não de internalização de conhecimento.

- E1 Descreve os usuários
- E2 Descreve os dispositivos utilizados
- E3 Detalha atividades da EIRV
- E4 Detalha avaliação da EIRV
- E5 Descreve a estratégia educacional
- E6 Descreve a mecânica de movimentação
- E7 Demonstra elementos da interface¹⁷

A tabela 4.4 apresenta o resultado da análise segundo os critérios finais listados acima. Cada trabalho foi avaliado e uma nota atribuída por elemento, de 0 (não descreve/ detalha) a 1 (descreve/ detalha). Alguns elementos receberam uma nota parcial, por exemplo: uma descrição muito rasa dos participantes como “participantes foram escolhidos dentre alunos da universidade X”, sem especificar gênero, idade, etc. receberia uma nota 0,5. As notas foram somadas e os 9 trabalhos com notas acima de 6,5 foram escolhidos para análise, detalhados no capítulo 5, em que se baseiam as nossas recomendações (capítulo 6).

Agrupamento	Total	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	Selecionados
C2	33	30	32	28	32	20	23	27	6 (18%)
C6	6	5	5	6	5	3	4	6	2 (33%)
C9	2	2	2	2	2	1	1	2	1 (50%)
Total	41	37	39	36	39	24	28	35	9 (22%)

Tabela 4.4: Classificações de resultados segundo elementos de design.

Recapitulando, foi apresentada uma metodologia para selecionar os trabalhos finais para análise, buscando ferramentas e critérios de seleção objetivos e replicáveis. A partir de uma listagem inicial com 1839 itens, métodos computacionais os classificaram, de forma autônoma (sem intervenção humana), em 10 agrupamentos. Por amostragem (5 aleatórias e as 5 com o maior número de citações de cada agrupamento, 100 itens no total) tiveram seus títulos e resumos analisados segundo critérios objetivos de aderência (apresentam EIRV e resultados empíricos com participantes). Essa fase resultou na seleção de quatro dos agrupamentos como os grupos de maior interesse para a próxima fase,

¹⁷Através de *screenshots* ou descrição textual, por exemplo.

resultando em 312 trabalhos escolhidos. A partir desta nova lista, por uma análise mais criteriosa sobre os títulos e resumos (se tem o objetivo de educar ou explicar um assunto complexo aos participantes), criando-se uma nova lista de 69 itens. Esses foram examinados, dessa vez em sua íntegra e não apenas títulos e resumos, para verificar se eram realmente EIRVs e apresentavam um tema complexo para os participantes, resultando em uma nova lista de 41 trabalhos. A seleção final foi feita novamente a partir do exame da íntegra dos trabalhos, para verificar quais contêm elementos suficientes para análises mais pormenorizadas, segundo critérios baseados no capítulo 3. Finalmente, foram selecionados os 9 trabalhos com maiores notas segundo esses critérios.

5

Estudos de caso

Este capítulo apresenta resumos e considerações sobre os trabalhos selecionados após aplicar-se o método explicado no capítulo 4. Como base de avaliação, considera-se as taxonomias expostas no capítulo 3 (figuras 3.1, 3.2 e 3.4), refletindo o design de IHC e o design instrucional das EIRVs avaliadas.

5.1

Explorando efeitos da interatividade no aprendizado com contação interativa de histórias em realidade virtual imersiva

Exploring Effects of Interactivity on Learning with Interactive Storytelling in Immersive Virtual Reality (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b)

5.1.1

Resumo

Immersive virtual reality (VR) holds great potential for learning, but it is unclear how VR experiences should be designed to maximize learning potential. In this study, we explored how the level of interactivity in an educational VR storytelling experience for immunology learning affects a user's learning gains. We created three versions of the VR experience with low (system automates as many actions as possible), medium (a combination of system automation and user-controlled actions), and high (as many user-controlled actions as possible) levels of interactivity. We hypothesized that too much or too little interactivity would result in smaller learning gains than a medium level of interactivity. Although data from pre and post-tests showed no significant difference in students' learning gains due to interactivity level, questionnaire and interview data suggest that interactivity in the experience significantly affects students' engagement in learning, attention, and focus on learning material. Participants also perceived that they could learn better and more effectively in a VR experience with a higher level of interactivity.

Realidade virtual imersiva (RV) possui um grande potencial no aprendizado, mas não é claro como as experiências de RV devem ser projetadas para maximizar o potencial de aprendizado. Neste

estudo, exploramos como o nível de interatividade em uma experiência educacional de RV de contação de histórias para o aprendizado de imunologia afeta os ganhos no aprendizado de um usuário. Criamos três versões da experiência de RV com diferentes níveis de interatividade: baixo (em que o sistema automatiza o maior número possível de ações), médio (com uma combinação de automação e ações controladas pelo usuário) e alto (com o maior número possível de ações controladas pelo usuário). Nossa hipótese é que níveis muito pequenos ou muito grandes de interatividade resultariam em menores ganhos de aprendizado do que um nível médio de interatividade. Embora os dados de pré e pós-testes não tenham mostrado diferença significativa nos ganhos de aprendizagem dos estudantes relacionadas ao nível de interatividade, dados do questionários e entrevistas sugerem que a interatividade na experiência afeta significativamente o envolvimento dos estudantes no aprendizado, sua atenção e foco no material de aprendizagem. Os participantes também sentiram que poderiam aprender melhor e mais efetivamente em uma experiência de RV com um nível mais alto de interatividade. (tradução nossa)

5.1.2 Considerações

Os autores desenvolveram uma experiência imersiva em RV para ensinar a alunos universitários determinados conceitos de imunologia, através de uma história em que o participante incorpora um leucócito (glóbulo branco) patrulhando um vaso sanguíneo e combatendo bactérias e infecções.

Nesse trabalho, os autores denotam que não há diretrizes sólidas na literatura sobre como projetar experiências em RV para obter um aprendizado efetivo ao máximo, nem há muitos estudos sobre como a interatividade com RV afeta resultados de aprendizado ou sobre o nível de interatividade necessário. Os autores notam que nem sempre mais interatividade irá gerar melhores resultados, já que estudos em interatividade de multimídia e carga cognitiva sugerem que interatividade demais pode atrapalhar o aprendizado.

O trabalho desenvolvido utiliza interatividade e contação de histórias como os elementos de design principais para ensinar conceitos científicos complexos.

A hipótese de Zhang, Bowman e Jones (2019b) foi que há uma faixa ideal no design da interatividade para o melhor resultado educacional. Entretanto, seus resultados não demonstraram diferenças nos resultados de experiências

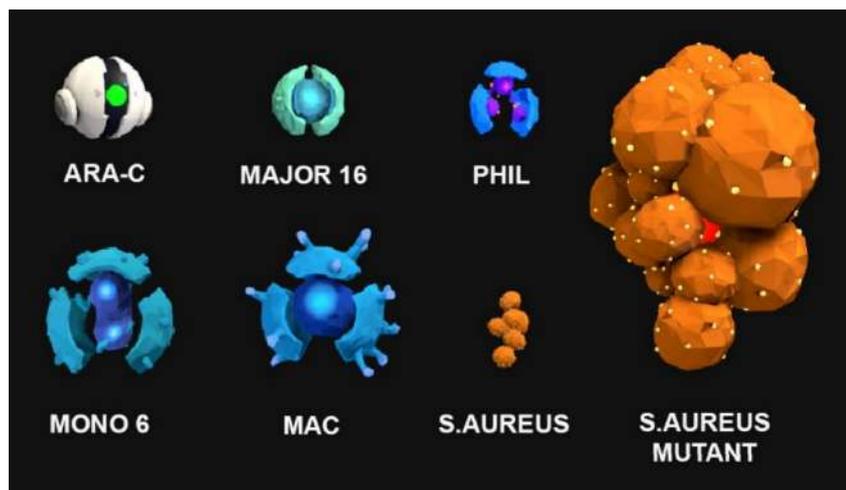


Figura 5.1: Alguns “personagens” da narrativa, incluindo o jovem neutrófilo PHIL controlado pelo usuário e bactérias do tipo S.AUREUS que causam infecção. (ZHANG; BOWMAN, 2022)

com mais ou menos interatividade, exceto na percepção dos participantes de que maior interatividade os trouxe maior engajamento, concentração e eficiência no aprendizado.

É essencial para o trabalho definir exatamente o que eles chamam de “interatividade”. Baseando-se em definições da literatura, principalmente nos campos de multimídia instrucional interativa e interação humano-computador, os autores propõem que

[...] no contexto de contação de histórias interativas em VR para aprendizado, as características interativas de uma experiência devem apoiar conceitos incorporados de aprendizado através de ações dos alunos. Em particular [...] dar ao aluno liberdade de navegação, a habilidade de selecionar objetos virtuais e aplicar efeitos desejados e a habilidade de acessar informações específicas de aprendizado no ambiente. (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b)

No que tange à teoria da carga cognitiva, explicada pelos autores como a possibilidade de atrapalhar o aprendizado devido a limitações inerentes da capacidade de memória de trabalho de um aluno, interatividade em excesso poderia potencialmente causar uma sobrecarga, deixando menos capacidade para aquisição de conhecimento. Portanto, o design da interatividade é crucial para o sucesso do aprendizado.

As hipóteses de trabalho foram: (1) que o nível de interatividade iria afetar o ganho no aprendizado, (2) que usuários teriam mais ganhos com interatividade média e (3) maiores níveis de interatividade corresponderiam a maior engajamento do usuário.

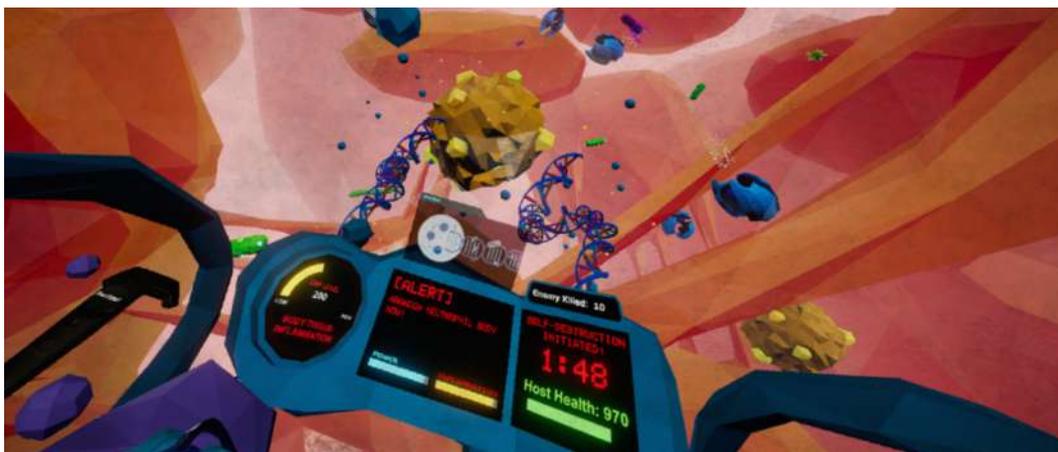


Figura 5.2: Ponto de vista do “piloto” de um neutrófilo prestes a atacar uma bactéria. (ZHANG; BOWMAN, 2022)

O assunto escolhido foi imunologia por ser “um tema complexo, abstrato, baseado em processos, envolvendo o conhecimento de fatos e jargão, apresentando barreiras para estudantes [...] visualizarem e se identificarem.” (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b) Ao observar que esse aprendizado em geral consiste de palestras e laboratório e não promove o aprendizado de maneira ativa, bem como ao analisar a descrição da experiência, pode-se observar que a experiência do estudo tem uma estratégia educacional de *descoberta*, (construtivista).

Na experiência, o aluno está na posição de um “piloto de neutrófilo”, um tipo de leucócito que vai até o local de infecções e pode se utilizar de alguns mecanismos diferentes para combatê-las. Um guia virtual auditivo ajuda o aluno a usar as capacidades de combate de seu neutrófilo, ou seja, pelo menos parte da atividade é guiada. Logo percebe-se que a experiência estimula a imaginação do aluno, que deve se visualizar como um piloto de leucócito participando dessas “batalhas”. Ainda mais, existem diferentes tarefas, claramente segmentadas: navegar no espaço tridimensional pelos tecidos, escolher a melhor “arma” e disparar contra patógenos (figura 5.2).

No modo de interatividade baixa, o aluno apenas controlava seu ponto de vista, ou seja, para onde estava olhando pelo seu *headset*. O acesso à informações sobre elementos, a movimentação e a interação com elementos eram todos automáticos.

No modo de interatividade média, o aluno poderia controlar completamente a interação com elementos, mas apenas parcialmente controlava a movimentação e o acesso à informação. Por exemplo, informação sobre uma célula apareceria automaticamente, mas apenas após o aluno olhar fixamente para ela.



Figura 5.3: Usuário utilizando um HTC Vive Pro. (ZHANG, 2022)

No modo de interatividade alta, todos os elementos (interação, navegação e informação) eram controlados pelo aluno. Por exemplo, para acessar a informação sobre uma célula, o aluno deveria selecioná-la usando um “apontador laser”.

A experiência era imersiva, com o aluno utilizando um *headset* HTC Vive (como o da figura 5.3), dentro de um ambiente completamente tridimensional ao seu redor, simulando uma cabine esférica com um painel informacional diegético¹. O movimento da cabeça do aluno era livre e seu ponto de vista mudava naturalmente. Dois controles com seis graus de liberdade² (DoF) foram utilizados. Em modos de interatividade compatíveis, o “piloto” se movimentava rolando seu neutrófilo na superfície de vasos sanguíneos ou navegando dentro de tecidos.

Para determinar os resultados, foi usado um questionário antes e após a experiência³. Os resultados, como mencionado, não indicaram uma relação entre nível de interatividade e aprendizado, portanto não se comprovou as hipóteses de trabalho (1) e (2), nesse experimento. Entretanto a hipótese (3) foi corroborada pelos resultados, ou seja, estes indicaram que maior interação gera maior engajamento. Segundo a presente análise consideramos que o experimento promoveu o engajamento com o assunto, mas não necessariamente influenciou no aprendizado sobre imunologia.

¹Considera-se, ao longo desse trabalho, que elementos diegéticos são aqueles incorporados à narrativa da experiência. Por exemplo, no caso descrito, as informações são exibidas através de instrumentos da “cabine” do usuário que “pilota” o leucócito. Se as informações fossem mostradas sem integração com a narrativa, por exemplo através de *popups*, seriam consideradas não-diegéticas.

²Os graus de controle são: movimento ao longo dos eixos X, Y e Z, e rotação ao longo de cada eixo. Os controles do HTC Vive têm ainda diversos botões de tipos e localizações diferentes, bem como um *trackpad* e *feedback* háptico. Disponível em <<https://www.vive.com/eu/accessory/controller/>>, acessado 12 de dez. de 2022.

³Não foi encontrado o tempo de duração da experiência

Outros resultados notados indicaram que:

- Alunos se sentiram mais desafiados com maior interatividade (na condição de média interatividade comparada à baixa), o que pode contribuir ao aprendizado.
- A condição de interatividade média foi percebida como mais efetiva no aprendizado de conceitos de imunologia do que a baixa interatividade.
- Um alto grau de interatividade com os elementos de RV foi considerado bem mais efetivo para o aprendizado.

Os autores propõem que algumas diretrizes tem bom potencial de ajudar na efetividade do ensino utilizando uma experiência de VR com contação de história:

- Utilizar interatividade para aumentar o engajamento, mas designers das experiências não devem se sentir obrigados a sempre fazer isso para todo tipo de ação.
- Utilizar interatividade para ações diretamente relacionadas a conceitos-chave de aprendizado, permitindo aos alunos utilizar os conhecimentos adquiridos.
- Procurar projetar interatividade ou animações que levem diretamente à visualização de conceitos, minimizando carga cognitiva em excesso.

O estudo apresenta limitações. Segundo os próprios autores, o número de participantes foi baixo demais e o questionário deveria ser melhor validado para afirmar categoricamente certas conclusões. Ainda mais, certas interações eram desnecessárias (como mecânicas de movimentação complexas) e podem ter atrapalhado o aprendizado.

A UX da experiência pode ser classificada como as seguintes características:

- Usuários
 - Demografia: 62 participantes (42 mulheres, 20 homens, idade média 19 anos, matriculados em um curso introdutório de biologia em uma universidade, todos com visão normal, 26 pessoas sem experiência prévia com VR, 35 pessoas com uma pequena experiência com VR, uma pessoa com experiência moderada. (U1, U2, U5).
- Dispositivos
 - Entrada, usa as mãos, com controle (DE9).

- Saída: visual, ancorado ao usuário, pré-montado (SV9).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura sentada (AP2);
 - * navegação (AT1), controle de sistema (AT3);
 - Ambiente
 - * plataforma fixa (AA2);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2).
 - Medida: qualitativa (Av3).
 - Avaliador: usuário final (Av5).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes, durante e após o uso (Av10/ Av11/ Av12).
 - Fase de desenvolvimento: totalmente funcional (Av14).

Em termos educacionais:

- Estratégia de descoberta (E4)
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), *role-play* (F6), simulação (F7)
 - Atividade: identificação de similaridades e diferenças (A1)
 - Saskatchewan: instrução indireta (S2), interativa (S3).
 - Bloom: aplicação (B3).

5.1.3

Trabalhos relacionados dos autores

Mais relatos sobre a experiência avaliada estão publicados Zhang, Bowman e Jones (2019a), Zhang e Bowman (2021), Zhang e Bowman (2022) e na tese de doutorado de L. Zhang (ZHANG, 2022)⁴. Zhang e Bowman (2021) é um estudo preliminar do efeito da contação de história (*storytelling*) em RV para explicar conceitos científicos complexos, bastante alinhado com a presente pesquisa. As hipóteses do estudo, relacionadas com narrativas mais ricas gerando maior aprendizado, entretanto, não foram corroboradas. Zhang et al. (2021) demonstram a adaptação dessa aplicação para promover a educação científica sobre vacinação contra a COVID-19. Enquanto Zhang (2022) introduzem todos esses aspectos e mais.

O autor principal (Zhang, L.) apresentou ainda outros trabalhos relacionados relevantes para a nossa pesquisa⁵. Zhang e Oney (2020) introduz um sistema capaz de criar conteúdo em RV que pode ser utilizado para criar novas EIRVs por designers enquanto imersos em RV⁶. No mesmo estudo, examinam as vantagens dessa abordagem autoral imersiva em comparação com uma ferramenta autoral 2D. Davari et al. (2019) focam em *feedback* háptico, integrando objetos físicos rastreados à narrativa de uma “sala de escape” e viagem no tempo (figura 5.4).

5.2

Experimento corporificado de levitação em microgravidade em um ambiente simulado em realidade virtual para o aprendizado de ciência

Embodied experiment of levitation in microgravity in a simulated virtual reality environment for science learning (TAMADDON; STIEFS, 2017)

5.2.1

Resumo

This paper is about an interactive virtual reality (VR) installation that is designed and developed for school students who visit the DLR School Lab Bremen of the German Aerospace Center. Using immersive VR technology, we put the participants in place (avatar) of an astronaut who is located outside the International Space

⁴Disponível em <<https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/107808>>, acessado em 11 de fev. de 2023

⁵Mais sobre o autor está disponível em <<http://raynezhang.me/>>, acessado em 10 de fev. de 2023.

⁶Vídeo disponível em <<https://www.youtube.com/watch?v=-m1QVWILNDs>>, acessado em 10 de fev. de 2023.

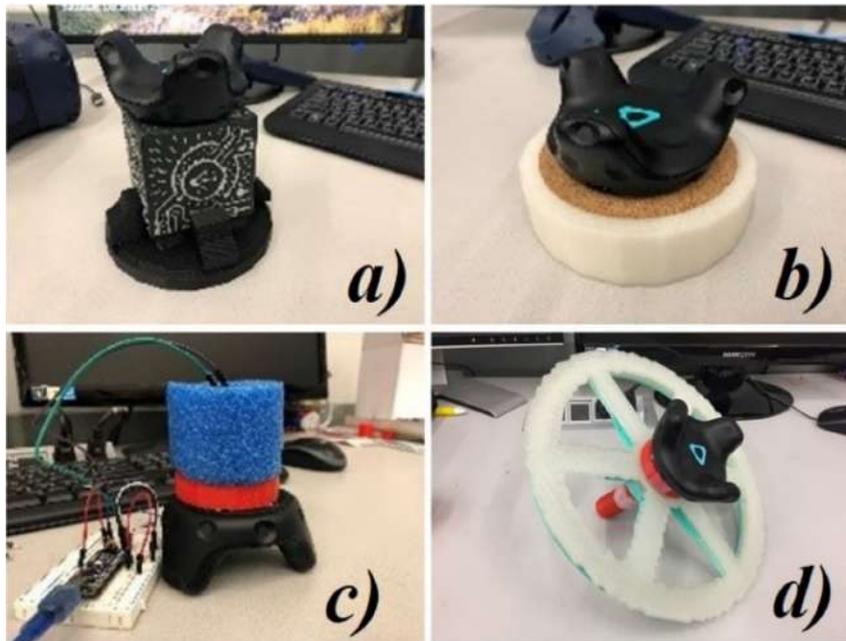


Figura 5.4: Elementos hápticos passivos rastreados. a) Um “cubo de memória”. b) Um “cryptex”, uma espécie de cofre mecânico. c) Uma tocha. d) Uma válvula. (DAVARI et al., 2019)

Station and can see the virtual world through the eyes of this avatar. This experiment let them experience the difference of interactions in microgravity and on the surface of the Earth. It is a visually and physically simulated whole body interactive VR environment where participants can intuitively explore physics of microgravity. The environment provides the possibility to perform reorientation strategies in microgravity. The digital tools that we used included Oculus Rift (DK1) head mounted display, Kinect (version 1) body tracking device, and a computer. We held a small user study to see if the system could improve the participants view about physics of microgravity. The results of this study show that the simulation was beneficial for participants and improved their ability to make better predictions about some interactions in microgravity.

Este artigo fala sobre uma instalação interativa de realidade virtual (RV) projetada e desenvolvida para estudantes que visitam o laboratório escolar DLR Bremen do Centro Aeroespacial Alemão. Usando tecnologia imersiva de RV, colocamos os participantes no lugar de um astronauta (avatar) que está fora da Estação Espacial Internacional e eles podem ver o mundo virtual através dos olhos deste avatar. Esta experiência permitiu que os estudantes experientem a diferença de interações em microgravidade e na superfície

da Terra. É um ambiente de RV interativo simulando visual e fisicamente com o corpo inteiro, onde os participantes podem explorar a física da microgravidade intuitivamente. O ambiente oferece a possibilidade de realizar estratégias de reorientação em microgravidade. As ferramentas digitais que utilizamos incluíram o *headset* Oculus Rift (DK1), o Kinect (versão 1), dispositivo de rastreamento corporal e um computador. Realizamos um pequeno estudo com usuários para ver se o sistema poderia melhorar a percepção dos participantes sobre a física de microgravidade. Os resultados deste estudo mostram que a simulação foi benéfica para os participantes, melhorando sua capacidade de fazer melhores previsões sobre algumas interações na microgravidade. (tradução nossa)

5.2.2

Considerações

Os autores desenvolveram uma EIRV com um Oculus Rift para alunos de idade escolar visualizarem os efeitos da microgravidade como experimentada em órbita com a ISS (Estação Espacial Internacional), com o objetivo de verificar se a experiência poderia melhorar a percepção dos participantes sobre a física da microgravidade. Os usuários experimentam o ponto de vista de um avatar de astronauta, que eles podem mover da mesma forma que movem seu próprio corpo, rastreado através de um sensor Kinect.

Tamaddon e Stiefs (2017) mencionam o efeito de mudança conceitual e oportunidades de aprendizado que acontecem quando estudantes se vêem forçados a re-examinar sua “visão de mundo” ou, como colocado por Piaget, se vêem em “conflito cognitivo”. Ainda apontam que RV pode ser uma ferramenta capaz de criar tais situações e motivar estudantes no aprendizado de ciência.

Como o objetivo era que participantes intuitivamente entendessem a física de microgravidade, o sistema consistiu realmente de uma simulação e não apenas animações interativas. O participante, utilizando o *headset*, era suspenso de brucos de forma aos seus braços e pernas poderem se mover livremente, apesar das pernas serem sustentadas por cordas elásticas (figura 5.5).

Os elementos da cena incluíam (a exemplo da figura 5.6): o avatar do astronauta, o sol, o espaço com estrelas (*skybox*, ou fundo em 360 graus), a estação espacial, a terra e diversos objetos interativos flutuando ao redor do participante, de forma a passarem perto deste para estimular a interação (figura 5.7).

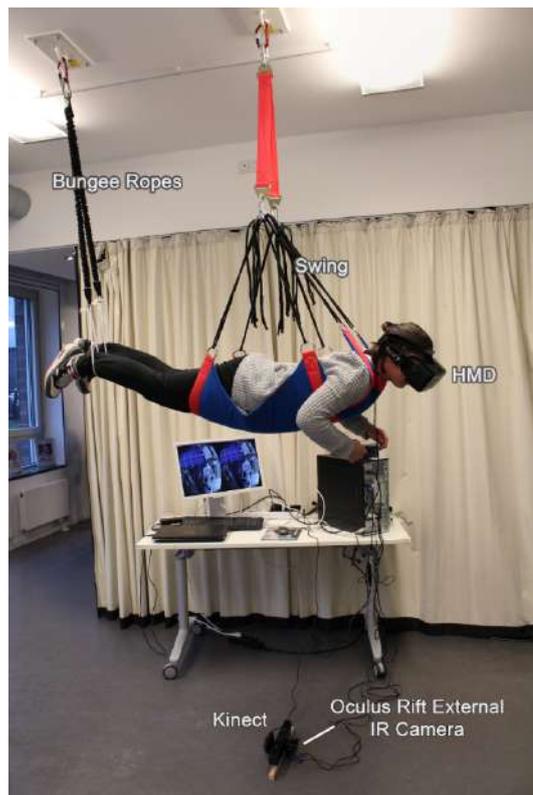


Figura 5.5: Participante suspenso, ancorado ao teto por um suporte (*swing*), utilizando um Oculus Rift (*HMD*) e monitorado pelo sensor *Kinect*.



Figura 5.6: Cena da aplicação, com o avatar do usuário perto da estação espacial, e o planeta Terra por detrás.

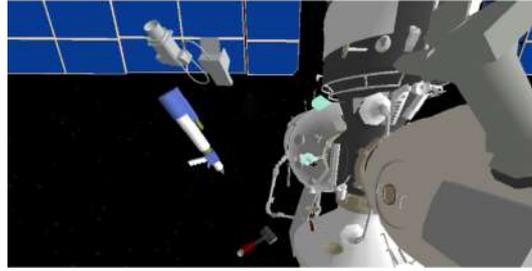


Figura 5.7: Objetos levitando, do ponto de vista do usuário da EIRV.

Antes da experiência, um tutor explicava sobre a experiência e demonstrava estratégias de reorientação (utilizar movimentos do corpo para girar sobre seu centro de massa).

A experiência em si consistia em o participante tentar pegar os objetos levitando, quando estes chegassem perto de seu avatar. Para isso, deveria utilizar-se das estratégias demonstradas para reorientar sua posição. O objeto final levava um tempo mais longo para chegar perto do avatar, o que estimulava com que o participante tentasse se aproximar. Entretanto, não é possível mudar a posição do seu centro de massa em microgravidade, sem algo para puxar ou empurrar, apenas é possível reorientar-se. Interessantemente, participantes continuavam tendo a impressão que isso seria possível, porém muito lentamente.

Os autores analisaram os resultados, observando que:

- O tutorial inicial de reorientação não foi efetivo, e foi preciso ensinar os participantes a se reorientar dentro da EIRV.
- Os participantes se mostraram interessados na experiência, mas é bastante possível (tendo em vista os comentários após a experiência) que isso seja um efeito não relacionado ao aprendizado e sim à novidade da EIRV em si.
- Os autores acreditam que a experiência pode ser refatorada para atividades de aprendizado mais investigativas.
- Apesar dos outros sentidos (vestibulares, cinestésicos) não corresponderem às informações dentro da experiência, os participantes foram capazes de estimar com precisão sua posição, velocidade e aceleração.
- Seria interessante se o tamanho do avatar (padronizado em 180 cm) se adaptasse ao tamanho do participante.

A partir das conclusões dos autores, consideramos em nossa análise que Segundo a taxonomia sugerida de Kim, Rhiu e Yun (2020) e os rótulos da figura 3.1, a UX da experiência tem as seguintes características:

- Usuários
 - Demografia: alunos do ensino fundamental, oitavo ano, com média de 13 anos (U1).
- Dispositivos
 - Entrada, com rastreamento de corpo todo (DE3).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, pré-montado (SV9).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura de braços (AP3);
 - * navegação, manipulação (AT1, AT2);
 - Ambiente
 - * plataforma móvel passiva (AA1);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2).
 - Medida: qualitativa (Av3).
 - Avaliador: usuário final (Av5).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes, durante e após o uso (Av10/ Av11/ Av12).
 - Fase de desenvolvimento: totalmente funcional (Av14).

Em termos educacionais:

- Estratégia de investigação (E2)
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), resolução de problemas (F3), *role-play* (F6), simulação (F7)
 - Atividade: gerar e testar hipóteses (A8)
 - Saskatchewan: instrução indireta (S2), interativa (S3), *sprendizado experimental* (S5).
 - Bloom: aplicação (B3).

5.2.3

Trabalhos relacionados dos autores

Durante a presente pesquisa, não achamos informações extras sobre esse trabalho ou outros relacionados, nem outros trabalhos dos mesmos autores que consideramos relevantes para o tópico.

5.3

iProgVR: Design de um ambiente de Realidade Virtual para aprimorar o aprendizado introdutório de programação

iProgVR: Design of a Virtual Reality Environment to Improve Introductory Programming Learning (WEE; YAP; LIM, 2022)

5.3.1

Resumo

Currently, there are a plethora of solutions developed to help students learn the basics of programming. However, there is a relative paucity of solutions that cater to problems students face when learning programming that is mainly caused by the abstract nature of programming, misconceptions of programming concepts, and lack of motivation. Hence, in this study, a framework to address the abstract nature of programming and common programming misconceptions is developed. The framework consists of three modules that correspond to each issue, powered by a simulation engine. The first module is developed to address the abstract nature of programming by representing programming concepts with concrete objects in the virtual environment. The second module employs simulation techniques such as interactions and player perspectives to address common programming misconceptions. Lastly, the third module employs elements in the virtual environment to engage students when learning through the system. To evaluate the system, 60 participants were randomly divided into the control group ($N = 30$) and the experimental group ($N = 30$). Participants in the control group were taught using a video lecture while participants in the experimental group were taught using the developed VR intervention. Evaluation results gathered quantitatively indicated that the VR intervention was able to significantly increase programming concepts comprehension and address programming misconceptions. Participants also rated the developed VR intervention to be significantly more engaging than the video lecture.

Atualmente, existem diversas soluções desenvolvidas para ajudar estudantes a aprenderem noções básicas de programação. Entretanto, há relativa pobreza em soluções que lidem com os problemas que estudantes lidam que são principalmente causados pela natureza abstrata da programação, equívocos quanto à conceitos de

programação e falta de motivação. Portanto, nesse estudo, são desenvolvidos um arcabouço para endereçar a natureza abstrata da programação e entendimentos equivocados comuns. O arcabouço consiste de três módulos que correspondem à cada questão, executado por um mecanismo de simulação. O primeiro módulo é desenvolvido para endereçar a natureza abstrata da programação, representando conceitos de programação através de objetos concretos no ambiente virtual. O segundo módulo utiliza técnicas de simulação como interações e pontos de vista do jogador para endereçar entendimentos equivocados comuns em programação. Finalmente, o terceiro módulo utiliza elementos no ambiente virtual para engajar estudantes quando aprendem pelo sistema. Para avaliar o sistema, 60 participantes foram aleatoriamente divididos em um grupo de controle ($N = 30$) e o grupo experimental ($N = 30$). Participantes no grupo de controle foram ensinados utilizando apenas uma aula em vídeo, enquanto participantes no grupo experimental foram ensinados usando a intervenção em RV desenvolvida. Resultados da avaliação obtidos quantitativamente indicaram que a intervenção em RV foi capaz de aumentar significativamente a compreensão de conceitos de programação e endereçar potenciais entendimentos equivocados sobre programação. Participantes ainda consideraram o intervenção em RV desenvolvida como significativamente mais engajadora que a aula em vídeo. (tradução nossa)

5.3.2 Considerações

O trabalho de Wee, Yap e Lim (2022, p.100055-100056) teve por objetivo ir além de uma simples experiência que criasse mais engajamento ao introduzir conceitos de programação. Eles procuraram explicar conceitos abstratos e entendimentos equivocados sobre certos conceitos. Os autores argumentam que na atualidade o ensino de programação de computadores tende a utilizar conceitos de linguagens de programação de alto nível (ou seja, mais abstratos, próximos de linguagem humana e não de máquina), porém que essa abordagem pode ser teórica demais, atrapalhando o entendimento dos conceitos para alguns alunos. Além disso, é necessário aprender sintaxe e semântica das linguagens de forma simultânea, o que pode ser uma tarefa um tanto quanto avassaladora. Programação é percebida como uma tarefa intimidadora e difícil.

Ambientes virtuais podem auxiliar no ensino de programação, o que é suportado por teorias construtivistas, segundo Wee, Yap e Lim (2022,

p.100056).

Foram analisados, pelos autores, diversos trabalhos, incluindo vários em RV, bem como outros tipos de experiências para tangibilizar e visualizar os conceitos.

Menciona-se ainda (p.100057-100059) ferramentas modernas de programação, capazes de auxiliar ao se escrever o código, diminuindo a dificuldade quanto à sintaxe, bem como ferramentas de programação por blocos⁷⁸ e a utilização de jogos para ensino de programação.

As hipóteses e questões norteadoras a serem testadas foram:

1. Hipótese H1: Conceitos abstratos de programação são mais fáceis de entender se forem representados por objetos concretos em RV. Questão Q1: De que forma?
2. Hipótese H2: Interatividade com o ambiente virtual pode ajudar alunos a identificarem e endereçarem entendimentos equivocados. Questão Q2: De que forma?
3. Hipótese H3: Uma EIRV pode aumentar a motivação e o engajamento de alunos ao aprender programação de computadores.

Os usuários utilizaram controles, representados como “mãos” capazes de interagir com o ambiente (por exemplo pegando um objeto e soltando-o, utilizando deixas que sinalizam onde é possível soltá-lo), o que estimula uma perspectiva de primeira-pessoa e ajuda a identificar equívocos de entendimento. Segundo os autores (p.100062), teorias construtivistas de aprendizado indicam que a construção do conhecimento ocorre através da interação com o ambiente de aprendizado. Portanto, faz sentido que uma perspectiva em primeira-pessoa pode ser crucial para o melhor entendimento. Ambientes em RV podem promover esse tipo de perspectiva e entendimento. Por exemplo, os autores mostram um enunciado em linguagem de programação (*Python*) e o aluno deve pegar o bloco e colocá-lo em um recipiente para a resposta. Os comandos do enunciado podiam ser executados de forma concreta pelo usuário e os alunos poderiam ver como seria impossível executar certas ações. Por exemplo, uma variável (simples) apenas pode conter um valor (definições desses conceitos são apresentadas a seguir). Se um aluno tentasse colocar mais de um valor na gaveta correspondente à uma variável, isso não seria possível.

⁷Similares ao exposto no Capítulo 4, método utilizado pelo software *Orange Data Mining*.

⁸Os autores, entretanto, explicam que não utilizaram esse conceito por ele não se encaixar nas hipóteses e questões norteadoras do estudo.



Figura 5.8: iProgVR: variáveis, representadas cada uma por uma gaveta.

Variáveis⁹ eram representadas como gavetas (figura 5.8), listas¹⁰ como uma série de gavetas em linha (figura 5.9) e matrizes¹¹ bidimensionais representadas como armários (ou escaninhos) no ambiente virtual (figura 5.10). Estes elementos foram usados para lidar com a questão do entendimento de conceitos abstratos. Segundo os autores (p.100061), o princípio da espiral proposto por Shneiderman sugere que se deve apresentar conceitos de forma incremental, para que o conhecimento semântico e sintático seja apresentado em paralelo. Portanto, desafios são apresentados de forma a cobrir a semântica (por exemplo, colocar blocos de dados em gavetas ou armários; ou utilizar estruturas de controle como laços¹²) e a sintaxe (apresentada como um enunciado utilizando sintaxe da linguagem de programação *Python* e executada pelo usuário de forma concreta na EIRV).

Elementos motivacionais foram supridos pelo contexto narrativo, por *feedback* instantâneo e por um sistema de rastreamento de conquistas (*achievements* em inglês), representados na EIRV de forma concreta por troféus, ganhos pelo aluno e expostos no ambiente. A narrativa era feita utilizando texto e feedback auditivo ao longo da apresentação das tarefas.

A eficácia de EIRV foi verificada pela comparação com grupos de controle.

⁹Em computação, *variáveis* são abstrações representando espaços na memória do computador, capazes de armazenar dados.

¹⁰Listas são variáveis capazes de armazenar múltiplos valores, identificados por sua posição na lista.

¹¹Matrizes são variáveis capazes de armazenar múltiplos valores, identificados por dois ou mais índices em conjunto. Por exemplo, um gráfico 2D pode ser representado por uma matriz bidimensional em que os dois índices representam posições mapeadas ao longo dos eixos X e Y, enquanto o valor de cada elemento representa sua cor.

¹²Um laço *for* (*for loop* em programação, é uma estrutura que causa a repetida execução de um bloco de código seguindo condições específicas.

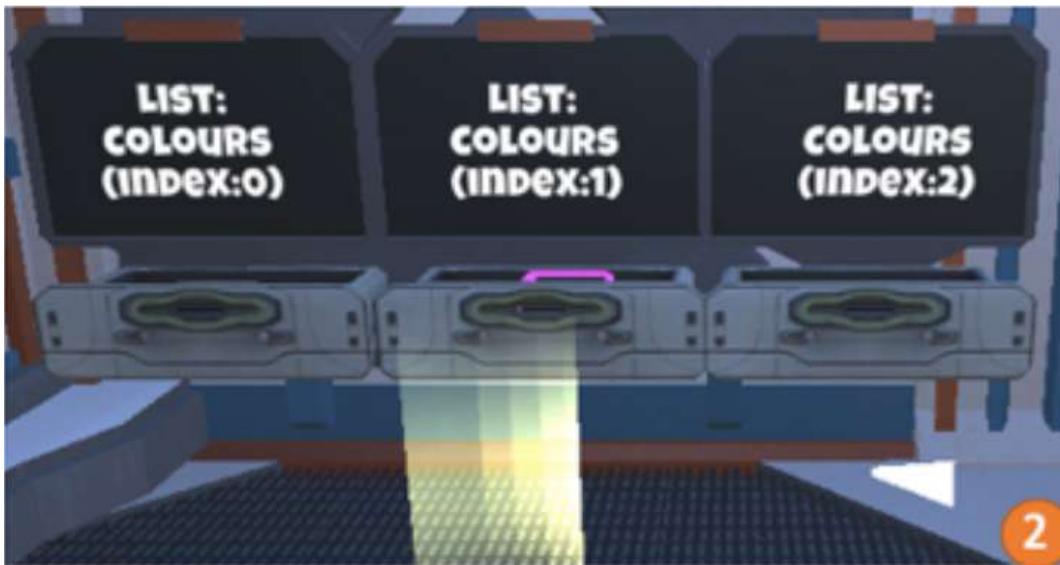


Figura 5.9: iProgVR: lista, representada por um conjunto de gavetas.

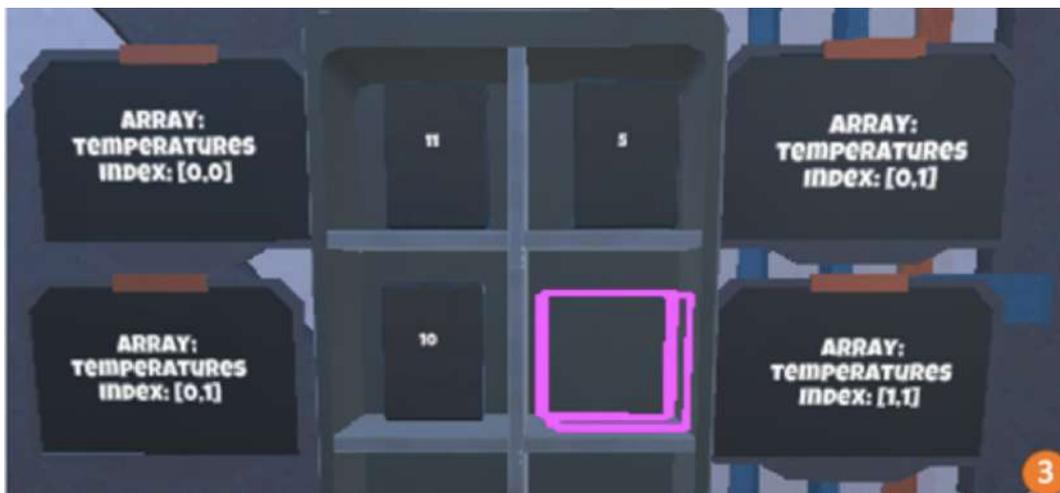


Figura 5.10: iProgVR: matriz, representada por um conjunto de escaninhos.

Em um primeiro experimento foi verificada a viabilidade do experimento, com 60 participantes de 18 a 23 anos de idade, divididos igualmente por gênero, bem como por nível de experiência em programação – nenhum ou iniciante, dividindo-os em um grupo (com todos matriculados em um curso online de iniciação à programação em sua universidade) que foi exposto à uma aula em vídeo, enquanto o outro grupo (50% dos alunos) utilizou a EIRV. Em um segundo experimento, participaram 24 alunos, entre 17 e 22 anos, 17 mulheres e 7 homens e com 12 se declarando iniciantes e 12 sem qualquer experiência em programação. Os participantes dos grupos de RV foram expostos à uma sessão inicial como tutorial do uso do ambiente.

Segundo a análise dos autores dos resultados, a hipótese H1 foi corroborada, indicando que representar conceitos abstratos utilizando objetos concretos em RV ajudou os participantes a entender conceitos abstratos de progra-

mação.

A hipótese H2 também foi corroborada, indicando que interatividade no ambiente virtual ajudaram os alunos com entendimentos equivocados. Ademais, os resultados indicaram que participantes nos grupos que utilizaram RV tiveram resultados significativamente melhores em relação aos outros grupos, ou seja, a EIRV pareceu ter ajudado no aprendizado de forma significativa¹³.

Foi observado que os alunos (de ambos grupos, RV e não-RV) indicaram que preferiam aprender através de aulas em vídeo, e que percebem tanto esse tipo de conteúdo como em RV como boas formas de aprendizado. É possível, ainda, segundo os autores, que o tipo de aula em vídeo pode ter sido produzido de maneira mais engajadora. Não houve diferença significativa no aprendizado por ambos grupos. Participantes indicaram que achariam interessante mais elementos colaborativos e imersivos (possibilidade de explorar o ambiente utilizando um *headset* sem fios).

A hipótese H3 também foi corroborada pelos resultados. Alunos utilizando o iProgVR relataram um maior engajamento do que os de grupos de controle.

A UX da experiência tem as seguintes características:

- Usuários
 - Demografia: 17-23 anos, universitários (ver acima) (U1).
- Dispositivos
 - Entrada, com controle rastreado (DE9).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus Rift pré-montado (SV9), auditivo (SA1).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura não declarada no texto;
 - * navegação (AT1); manipulação (AT2), seleção (AT3);
 - Ambiente
 - * plataforma fixa (AA2);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2).

¹³Entretando, os autores apontam que o número de participantes deveria ser maior para maior confiança nos resultados, portanto deve ser visto como um resultado preliminar.

- Medida: qualitativa (Av3).
- Avaliador: usuário final (Av5).
- Localização: laboratório (Av7).
- Período: antes e após o uso (Av10/ Av12).
- Fase de desenvolvimento: totalmente funcional (Av14).

Em termos educacionais, temos:

- Estratégia de descoberta (E4)
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), resolução de problemas (F3), perguntas e respostas (F11)
 - Atividade: recompensas (A3), representações não-linguísticas (A5), gerar e testar hipóteses (A8)
 - Saskatchewan: instrução indireta (S2)
 - Bloom: compreensão (B2) e avaliação (B5).

5.3.3

Trabalhos relacionados dos autores

Outros trabalhos dos autores expandem esse estudo. Em Wee e Yap (2021a), propõem o arcabouço para auxiliar o ensino sobre noções abstratas da área de programação, discutindo e analisando esse design¹⁴. Lim et al. (2021) trata da percepção de peso em RV através de uma revisão sistemática em trabalhos que utilizam o design de deixas que afetam a sensação de peso (força, deformação da pele, etc.) Esse estudo traz uma categorização que pode ser utilizada para expansão ou adaptação da taxonomia utilizada na presente pesquisa (figura 3.2) quanto ao feedback (saída): háptico (direto e indireto) ou pseudo-háptico (LIM et al., 2021, p.163260). Wee e Yap (2021b) aborda a questão da lacuna na diversidade de gênero em ciência da computação, e como EIRVs podem ajudar a minimizar esse problema, em especial usando GBL (*Game-Based Learning* — aprendizado baseado em jogos). Em sua revisão, analisam aplicações de VR para o ensino de ciência da computação e como os diferentes gêneros respondem diferentemente a certos elementos, promovendo ainda sugestões para a criação de jogos imersivos sobre ciência da computação voltados para o público feminino.

¹⁴Não tivemos acesso à íntegra do trabalho para analisar.

5.4

Educação STEM corporificada com agência: Efeitos de RV 3D comparada a PCs com 2D

Embodied Agentic STEM Education: Effects of 3D VR Compared to 2D PC (JOHNSON-GLENBERG et al., 2020)

5.4.1

Resumo

Embodiment is expected to play a key role in learning in VR. This randomized control trial determined how the two factors of embodiment (low versus high) and platform (2D PC versus 3D Virtual Reality (VR)) affected STEM learning. A total of 214 undergraduate participants were randomly assigned to four conditions in a 2 x 2 design with pretests and posttests. The low embodied groups did not control the virtual net in the natural selection game, they observed a playback of butterflies being captured. All groups showed significant content knowledge gains by posttest. There was a main effect of embodiment; the active groups that controlled the virtual net learned more content. There was not a main effect of platform on learning. However, there was an intriguing interaction of embodiment by platform by test time revealing that the low embodied VR group learned the least ($ES = .38$), while the high embodied VR group learned the most ($ES = 1.07$). The low embodied VR players may have expected to have more agency and control over the game mechanics, and playing in the observational mode was infelicitous for learning. Interestingly, the PC condition was not significantly affected when in the more passive/observational mode. Players in the 2D PC condition may be more accustomed to low embodied learning, e.g., watching playback videos on monitors. Several guidelines are recommended for learning design in immersive VR. Non-interactive objects and videos in VR should be used judiciously and designers are encouraged to make the 3D VR content manipulatable and interactive.

Espera-se que a corporificação terá um papel fundamental no aprendizado em RV. Este estudo aleatorizado determinou como os dois fatores de corporificação (baixa ou alta) e a plataforma (PC 2D ou Realidade Virtual 3D (RV)) afetaram o aprendizado utilizando a metodologia STEM. Um total de 214 participantes de

nível universitário foram divididos aleatoriamente em quatro condições, em um projeto 2 x 2 com pré-testes e pós-testes. Os grupos de baixa corporificação não controlaram a rede virtual em um jogo sobre seleção natural, apenas observaram uma gravação de borboletas sendo capturadas. Todos os grupos mostraram ganhos significativos de conhecimento de conteúdo através de pós-testes. Houve um efeito principal da corporificação; os grupos ativos que controlavam a rede virtual aprenderam mais conteúdo. Não houve um efeito principal da plataforma no aprendizado. Entretanto, houve uma interação intrigante da corporificação por plataforma e tempo de testagem, revelando que o grupo RV de baixa corporificação aprendeu menos ($ES=.38$), enquanto o grupo RV de alta corporificação aprendeu mais ($ES=1.07$). É possível que os jogadores de RV de baixa corporificação tivessem expectativas de ter mais agência e controle sobre a mecânica do jogo, e jogar no modo observacional foi deletério para o aprendizado. Curiosamente, a condição de utilização de PC não foi significativamente afetada quando no modo mais passivo/observador. Jogadores na condição de PC 2D podem estar mais acostumados ao baixo aprendizado corporificado, por exemplo, assistindo vídeos de reprodução em monitores. Várias diretrizes são recomendadas para o projeto de aprendizagem em RV imersiva. Objetos e vídeos não interativos em RV devem ser usados judiciosamente e os designers são encorajados a tornar o conteúdo RV 3D manipulável e interativo. (tradução nossa)

5.4.2 Considerações

Segundo Johnson-Glenberg et al. (2020), décadas de pesquisa sugerem que metáforas baseadas em gestos e corpo (ou seja, corporificação) podem ajudar alunos de várias idades. Dispositivos de RV, melhores e mais acessíveis, podem permitir que designers educacionais possam usar tais estratégias em diversas áreas da educação. Seu estudo tem como objetivo determinar se diferentes níveis de corporificação afetam o aprendizado, em duas plataformas: PC (mais comum) e RV (menos comum, mas com alto potencial de impacto). Os autores mencionam que existem *affordances*¹⁵ profundas com VR que devem ser utilizados pelos designers: a sensação de presença e a agência associada à manipular conteúdo em 3D.

¹⁵*affordances* são oportunidades de ação e engajamento, ou a percepção de oportunidades para agir no ambiente linguístico por meio de artefatos semióticos. (TUROLO, 2020, p.184)



Figura 5.11: Jogo em 2D (versão web), em que se clica nas borboletas para capturá-las.

A experiência desenvolvida teve o tema “seleção natural”, por conta da sua complexidade, nuances, potencial visual e por ser um assunto não bem compreendido pela demografia dos participantes. O protótipo inicial foi um aplicativo para *tablet*, em que o jogador teria o papel de pássaro e um toque de dedo pegaria borboletas (a figura 5.11 apresenta uma versão similar em 2D), comparado a um filme sobre o assunto. Como o movimento de pássaro poderia causar náusea em RV, se escolheu no seu lugar usar uma rede para capturar borboletas, sem locomoção dentro da EIRV.

Na nova narrativa, por texto (não diegético), os jogadores eram informados da tarefa e uma barra de conquistas (também não diegética) se completava com as borboletas capturadas pela sua rede (figura 5.12), que deveriam ser dos tipos não venenosos (figura 5.13). Em uma versão com menos corporificação, os participantes não controlavam a captura dos insetos.

Os autores mencionam o papel do aprendizado corporificado¹⁶ no campo da educação. Isso pode se dar, potencialmente, pela ligação sensorimotora com a formação de memórias.

O estudo teve as seguintes hipóteses:

1. Hipótese H1: A plataforma com maior imersividade e presença aprenderiam mais.

¹⁶“A ideia que processos cognitivos sejam fortemente entrelaçados com a interação do mundo com o corpo”(JOHNSON-GLENBERG et al., 2020, p.25)



Figura 5.12: Jogo em VR, em que se usa a rede para capturar borboletas.

2. Hipótese H2: Participantes com maior atividade, controle e gestos (maior corporificação) aprenderiam mais.
3. Hipótese H3: Participantes da plataforma com maior corporificação em RV se mostraria com maior aprendizado no pós-teste.

A hipótese H1 não foi corroborada. Não foi demonstrado um maior aprendizado pelos alunos que utilizaram a EIRV. Os autores realçam que o grupo utilizando RV com menor corporificação (sem controlar a rede) pode ter causado a alteração do resultado, já que houve diferença significativa no aprendizado entre estes grupos (efeito baixo-moderado vs. efeito grande no grupo com maior corporificação).

Quanto a corporificação (H2), pode-se perceber que os grupos com maior atividade aprenderam mais que os outros. Mesmo na plataforma 2D, grupos com maior interatividade aprenderam mais que grupos com menor interatividade, em 3D (RV) ou 2D. Notavelmente, em 2D o nível de atividade (controle sobre a rede) não pareceu influenciar muito o aprendizado, enquanto o oposto se deu em RV.

Quanto a interação de corporificação e RV (H3), Johnson-Glenberg et al. (2020) perceberam um claro resultado de baixo aprendizado (bem como diversos comentários expressando frustração) pelos participantes utilizando RV com baixa corporificação, e sugerem que alunos podem estar acostumados com baixos níveis de interação em PCs/ 2D, mas que podem ter expectativa de alta corporificação, em especial se estão segurando um controle.

As conclusões dos autores é que todos participantes demonstraram bons ganhos em aprendizado, em especial os participantes da EIRV com alta

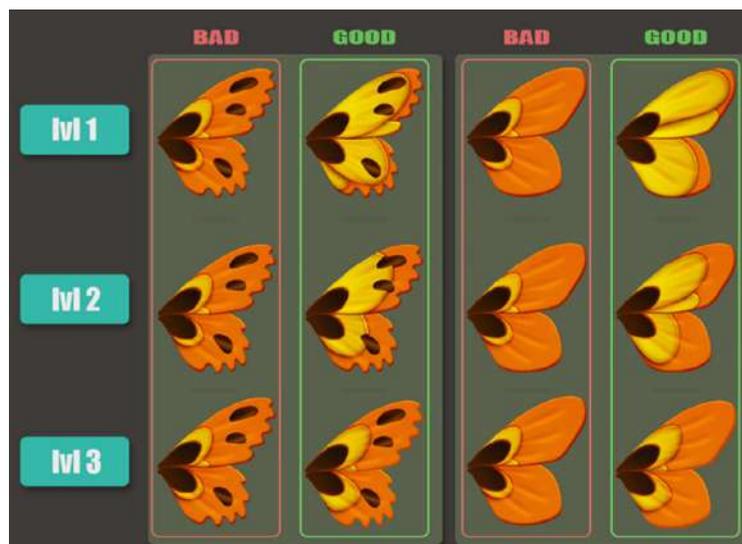


Figura 5.13: Diferentes borboletas, venenosas (vermelhas) e não-venenosas (verdes). (JOHNSON-GLENBERG; BARTOLOMEA; KALINA, 2021)

corporificação (com controle das redes), e portanto que designers deste tipo de experiência não devem tratar participantes como observadores passivos, mas sim projetando experiências com alta incorporificação (atividade).

Pode-se classificar a EIRV do estudo com as seguintes características:

- Usuários
 - Demografia: 214 participantes, com notas do exame TOEFL¹⁷ acima de 75, sem daltonismo, matriculados em uma disciplina introdutória de psicologia na universidade. Oito participantes reportaram ter experiência prévia com RV. 67% homens. (U1, U2, U5).
- Dispositivos
 - Entrada com um controle rastreado na mão direita (DE9).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus GO pré-montado (SV9), auditivo (SA1).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura não declarada no texto, porém permitindo mover e rotacionar a parte superior do corpo, assume-se sentada (AP2)¹⁸

¹⁷Exame que mede habilidades de leitura, escrita, fala e compreensão oral em inglês. Disponível em <<https://www.ets.org/toefl/test-takers/ibt/about.html>>, acessado 3 de jan. de 2023

¹⁸Os autores mencionam que em RV os usuários podiam se rotacionar seu corpo, mas a EIRV foi projetada para não encorajar movimentação nem rotação além de 25 graus.

- * manipulação da rede virtual e seleção das borboletas corretas (AT2, AT4)
- Ambiente
 - * plataforma fixa, sem movimentação (AA2);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2).
 - Medida: qualitativa (Av3).
 - Avaliador: usuário final (Av5).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes e imediatamente após o uso (Av10/ Av12).
 - Fase de desenvolvimento: totalmente funcional¹⁹ (Av14).

Em termos educacionais:

- Estratégia de descoberta (E4)
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), perguntas e respostas (F11)
 - Atividade: identificação de similaridades e diferenças (nas cores e padrões das borboletas, A1), recompensas (A3) e objetivos/feedback (barra interativa de avaliação, A7)
 - Saskatchewan: instrução indireta (S2) e interativa (S3)
 - Bloom: aplicação (B3) e análise (B4).

¹⁹Disponível, com adaptações, em <<https://www.embodied-games.com/games/natural-selection-catch-a-mimic/>>, acessado 3 de jan. de 2023.

5.4.3

Trabalhos relacionados dos autores

Johnson-Glenberg, Bartolomea e Kalina (2021) basicamente reiteram a obra avaliada acima, mas apresentam algumas outras informações e imagens. Já Johnson-Glenberg (2018) explora um aspecto bem relevante para a presente pesquisa e potenciais ramificações subsequentes: aplicações de teoria educacional para o design de RV, em especial os afetos gerados pela sensação de presença (ver seção 3.2) e pela manipulação corporificada possível em 3 dimensões. O uso de controles de RV modernos (bem como luvas, detecção de gestos e outros sensores) pode ser muito mais significativo e corporificado do que o uso de um teclado e mouse com uma tela em 2D, já tradicionalmente usados em educação. A autora dá o exemplo, em uma hipotética exposição educacional sobre mecânica, do ato de girar uma engrenagem manipulando-a gestualmente, em uma determinada velocidade, comparado a apertar-se uma tecla de teclado. Propõe-se o uso de uma taxonomia com três graus de corporificação: (a) engajamento sensorimotor, (b) congruência dos gestos com o conteúdo de aprendizado e (c) nível de imersão, que poderia ser adicionada à taxonomia proposta no capítulo 3 da presente pesquisa. Para mais, menciona a sugestão que RV deve ser usado da forma mais vantajosa, em situações impraticáveis de experimentar de outras maneiras (JOHNSON-GLENBERG, 2018, p.11). O mesmo trabalho traz esta última e outras referências potencialmente interessantes para o tema da presente pesquisa e suas potenciais ramificações.

Ainda é importante ressaltar que não só a obra publicada foi avaliada, mas a própria EIRV de seleção de borboletas foi experimentada em primeira mão, diretamente no curso da presente pesquisa, utilizando um *headset* Oculus Quest 2, e acessando o link supracitado, tornando a presente avaliação mais rica e precisa.

5.5

Cinemática de movimentação em realidade virtual aumenta eficiência do aprendizado

Travel Kinematics in Virtual Reality Increases Learning Efficiency
(NERSESIAN; VINNIKOV; LEE, 2021)

5.5.1

Resumo

Virtual reality (VR) computer interfaces show promise for improving societal communication and representation of information due to their unique ability to be placed spatially around the user

in three-dimensional (3D) space. This opens new possibilities for presentation and user interaction with the target information, and may be especially impactful for the education of science, technology, engineering, and mathematics (STEM) professionals. Simulations and visualizations have been shown in research studies to improve the efficiency of STEM learners compared to the less sensorimotor rich learning mediums of live instruction and textbook reading. Yet, learning science research into immersive computer simulation environments for educational applications remains limited. To address this research gap, we analyzed a fundamental VR interface capability, virtual environmental traversal, and its impact on participants' learning. We altered the traversal ability between two groups of STEM learners within the same virtual environment and compared their performance. Findings point that VR computer interfaces, regardless of environmental traversal, are suitable STEM learning environments, but that environmental traversal can increase learning efficiency.

As interfaces de computador de realidade virtual (RV) se mostram promissoras em melhorar a comunicação social e a representação das informações, devido à capacidade única de serem colocadas espacialmente ao redor do usuário de forma tridimensional (3D). Isso abre novas possibilidades de apresentação e interação do usuário com a informação-alvo, podendo ser especialmente impactante para a educação dos profissionais de ciência, tecnologia, engenharia e matemática (STEM). Em estudos de pesquisa, simulações e visualizações têm mostrado melhorar a eficiência dos alunos de STEM em comparação com os meios de aprendizagem menos ricos em termos sensorimotor como instrução ao vivo e leitura de livros didáticos. No entanto, a pesquisa científica de aprendizagem em ambientes de simulação computacional imersiva para aplicações educacionais ainda é limitada. Para preencher esta lacuna de pesquisa, analisamos uma capacidade fundamental da interface em RV, a movimentação em ambiental virtual e seu impacto na aprendizagem dos participantes. Alteramos o método de movimentação entre dois grupos de alunos de STEM dentro do mesmo ambiente virtual e comparamos seu desempenho. Os resultados apontam que as interfaces de computador de RV, independentemente da travessia ambiental, são ambientes de aprendizagem STEM adequados,

mas que o método de movimentação no ambiente pode aumentar a eficiência do aprendizado. (tradução nossa)

5.5.2 Considerações

Nersesian, Vinnikov e Lee (2021) introduzem seu estudo mencionando que o componente espacial de RV, em linha com as experiências sensorio-motoras naturais dos seres humanos, pode ser aproveitado ao desenvolver-se interfaces mais naturais em ambientes de aprendizado. Desta forma, examinam um dos componentes fundamentais de interfaces de computação espaciais, a movimentação no ambiente, com o objetivo de examinar como isso impacta a eficácia do aprendizado e usabilidade. Os autores mencionam que movimentação não é extensamente estudada quando se trata de aplicações educacionais.

O estudo examina o aprendizado e engajamento com ciência da computação utilizando diferentes métodos de movimentação em uma EIRV utilizando o aprendizado sobre *bubble-sort*. Este tipo de ordenação, muito utilizado no ensino de programação, é um algoritmo relativamente simples de ordenação de listas em que a posição de valores consecutivos é iterativamente trocada até todos valores estarem em ordem. Uma implementação em pseudo-código pode ser vista na figura 5.14.

Considerações interessantes são apresentadas quanto ao design de experiências em RV. Por exemplo como uma interface e movimentação em 3D pode ajudar na sensação de imersão e presença, mas que interfaces em 2D são mais fáceis de aprender e utilizar. Ainda mais, os autores argumentam que interfaces espaciais de computação irão precisar de soluções práticas para o aprendizado eficaz.

O estudo dividiu os participantes em um grupo de controle que utilizou um controle manual para movimentação (algo comumente utilizado em RV), e um grupo de tratamento que utilizou movimentação natural (andando

```

1 dada a lista L
2   t ← tamanho de L
3   trocado ← verdadeiro
4   repita enquanto trocado for verdadeiro
5     para i de 1 a t-1
6       se L[i-1] > L[i]
7         trocar(L[i-1], L[i])
8         trocado ← verdadeiro
9     senao
10      trocado ← falso

```

Figura 5.14: Pseudo-código de um algoritmo de *bubble-sort* não otimizado.

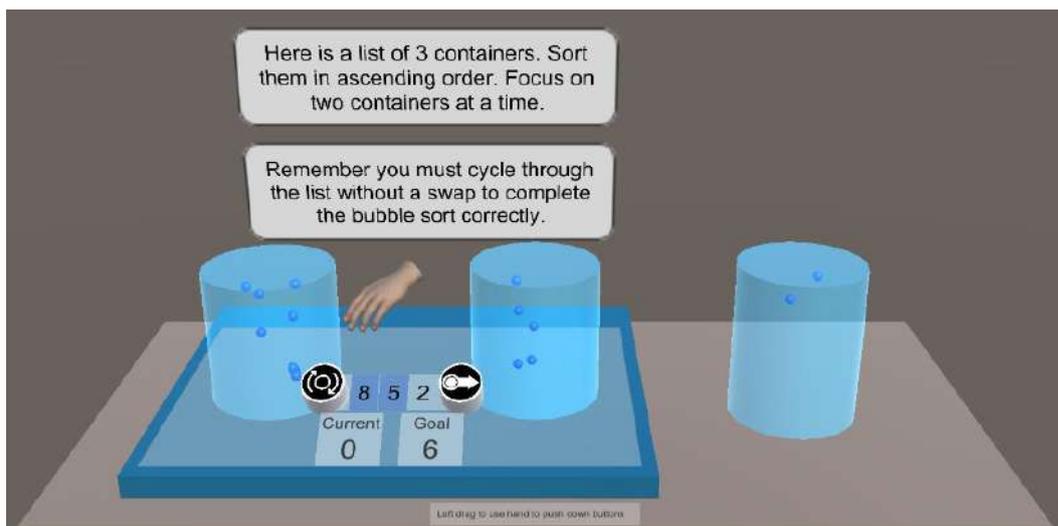


Figura 5.15: Visão da atividade de *bubble sort*.

fisicamente pelo ambiente, utilizando a capacidade sem-fio do dispositivo Oculus Quest).

Na EIRV, mensagens de texto não-diegéticas direcionavam o usuário para tarefas. Não havia áudio, nem um ambiente complexo além de uma bancada de trabalho, com objetos interativos, que tinha seu comprimento aumentado a cada iteração, ilustrada na figura 5.15. O usuário era representado apenas por uma mão virtual, que poderia apertar botões rotulados como “trocar” e “próximo”. Ainda havia uma representação da lista em sua íntegra na bancada. Todos participantes passaram por uma breve sessão de treinamento no uso do equipamento.

Analisando os resultados, os autores procuraram por diferenças no aprendizado entre os grupos. Foi encontrada, em análise final, uma diferença significativa no aprendizado. O grupo com movimentação natural teve uma melhora maior no aprendizado, bem como tendeu a utilizar menos tempo para completar as tarefas (este último poderia ser atribuído ao tamanho pequeno das listas nas tarefas, tornando a movimentação natural mais eficaz).

Nersesian, Vinnikov e Lee (2021, p.4) se dizem confiantes que a movimentação dentro de um ambiente virtual promove o engajamento com a experiência e que, baseado nesse e em outros experimentos, RV pode levar a melhoras significativas no aprendizado de computação e de outras áreas. Designers, segundo eles, podem “reforçar o aprendizado ao projetar interações que expressam [...] passos como movimentação corporal e interação com objetos físicos, o que pode ter impacto na internalização dos conceitos.”

Classificando a EIRV segundo o capítulo 3, temos:

- Usuários

- Demografia: 42 alunos de graduação de TI, 14,3% mulheres, com idades de 18 a 36 anos. (U1)
- Dispositivos
 - Entrada com controles rastreados (DE9) e com rastreamento (DE2; DE2/ DE3 para o grupo de movimentação natural).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus Quest pré-montado (SV9).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura não declarada para o grupo de controle; em pé para o grupo de tratamento (AP1);
 - * navegação, manipulação e seleção de elementos 3D (AT1, AT2, AT4).
 - Ambiente
 - * plataforma fixa (AA2).
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: objetiva (Av1) e subjetiva (Av2).
 - Medida: qualitativa (Av3) e quantitativa (Av4).
 - Avaliador: especialista (Av6).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes do uso (Av10), imediatamente após (Av12) e três em datas posteriores (Av13).
 - Fase de desenvolvimento: totalmente funcional (Av14).

Em termos de classificação educacional:

- Estratégia de investigação (E2)
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), role-play (F6), simulação (F7), perguntas e respostas (F11)
 - Atividade: identificação de similaridades e diferenças (A1) e recompensas (A3)
 - Saskatchewan: instrução interativa (S3), aprendizado experimental (S5)
 - Bloom: compreensão (B2) e aplicação (B3).



Figura 5.16: Membros de uma comunidade de aprendizado em uma sessão virtual (NERSESIAN, 2021, p.27).

5.5.3

Trabalhos relacionados dos autores

A dissertação de Nersesian (2021) expande a obra avaliada, e ainda provê outros pontos muito relevantes para nossa pesquisa: A importância e eficácia de cognição construtivista, com cenários de aprendizado ativos para o aprendizado em STEM e para o design de IHC, bem como a possibilidade e potenciais vantagens de laboratórios virtuais corporificados (p.20-21). Comprova ainda que instrução colaborativa (através de “comunidades de aprendizado”) em RV²⁰(figura 5.16), sem movimentação, teve um impacto positivo, sendo tão eficaz em ensino em sessões de treinamento colaborativo em RV quanto o grupo de controle utilizando encontros físicos, sendo ainda capaz de fomentar maior ajuda acadêmica em encontros sociais (p.46). Ainda discute no capítulo 4 (p.69) uma aplicação de RV com movimentação comparada à instrução presencial, para ensino de matemática binária. A mesma aplicação é exposta em Nersesian et al. (2020), e os achados também corroboram a eficácia do ensino, quando comparado a ambientes físicos tradicionais.

5.6

Logibot: Investigando engajamento e desenvolvimento de pensamento computacional através de realidade virtual

Logibot: Investigating Engagement and Development of Computational Thinking Through Virtual Reality (SIMS et al., 2021)

²⁰Utilizando o aplicativo *Facebook Spaces*, capaz de conectar até quatro participantes em uma espécie de teleconferência em realidade virtual.

5.6.1

Resumo

In this study we assess the effects of teaching fundamental programming concepts through a virtual reality (VR) block-based programming application and its impact on engagement. As a comparison study, participants played an existing desktop-based game (LightBot) and the developed VR game (LogiBot) covering similar gameplay mechanics and block-based programming. Initial results indicate that traditional desktop applications are currently more engaging than VR for teaching programming. We thus identify the need for careful design of interaction methods to support ease of use and reward factors to promote engagement in VR-based learning applications beyond the initial wow-factor.

Neste estudo, avaliamos os efeitos do ensino de conceitos fundamentais de programação através de realidade virtual (RV) de programação baseada em blocos e seu impacto no engajamento. Como um estudo para comparação, os participantes jogaram um jogo existente baseado em *desktop* (LightBot) e o jogo desenvolvido em RV (LogiBot) cobrindo mecânica similar de programação baseada em blocos. Os resultados iniciais indicam que as aplicações desktop tradicionais são atualmente mais envolventes do que RV para ensinar programação. Assim, identificamos a necessidade de um design cuidadoso de métodos de interação para apoiar a facilidade de uso e fatores de recompensa para promover o engajamento em aplicações de aprendizagem baseadas em RV além do fator de impacto inicial. (tradução nossa)

5.6.2

Considerações

Os autores denotam como o engajamento é importante para o aprendizado, em especial quando se utiliza meios eletrônicos de ensino (*e-learning*). Segundo eles, RV pode oferecer uma solução em potencial para aumentar o engajamento para o uso em educação. Engajamento, neste caso, é definido como o processo que consiste de quatro estados: engajamento inicial, engajamento sustentado, desengajamento e re-engajamento; e que estimula a lembrança da experiência, atenção e *feedback*. (SIMS et al., 2021, p.2)

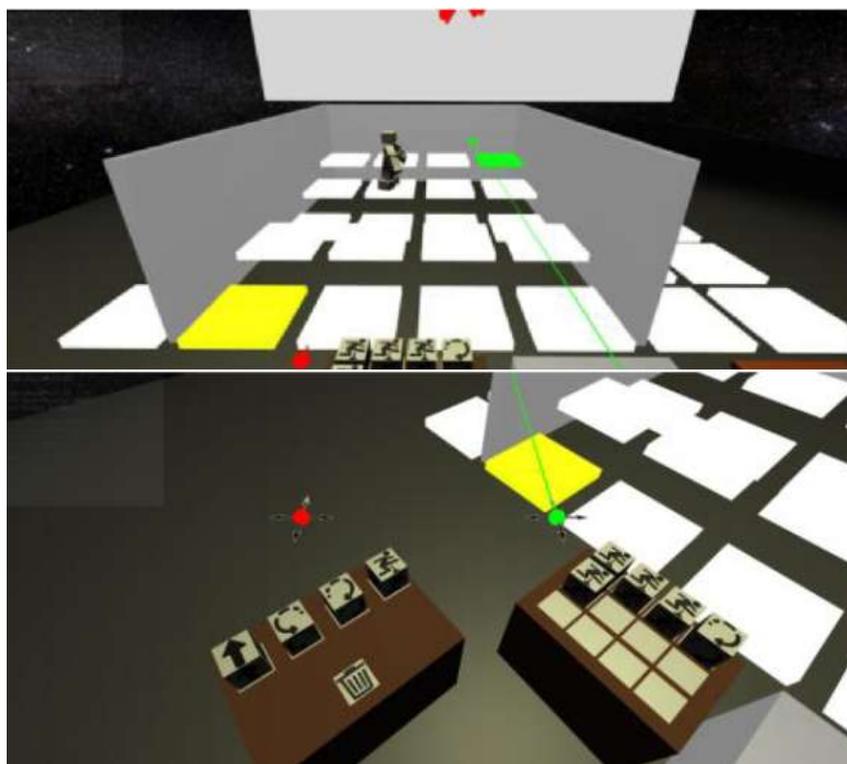


Figura 5.17: LogiBot, nível de exemplo em VR (topo) e mesa com blocos de comandos (abaixo).

O ensino de computação já utiliza diversos métodos, como ferramentas de programação visual²¹ e gamificação²².

O trabalho dos autores tem como objetivo ensinar programação por gamificação, criando um aplicativo em RV chamado *LogiBot* e comparando-o a outro sistema de programação baseado em blocos, o *LightBot*²³. Estes sistemas utilizam estratégias construtivistas, baseando o aprendizado em um processo ativo de experimentação. A figura 5.17 ilustra o *LogiBot*, enquanto a figura 5.18 ilustra o *LightBot*.

Sims et al. (2021) mencionam diversas pesquisas no tocante ao uso de RV em educação. Por exemplo, como tangibilidade pode oferecer um impacto positivo no aprendizado de programação, como RV pode oferecer oportunidades de melhoras em métodos de treinamento, como RV pode ajudar alunos mais “sensoriais” a aprender, como jogos têm se mostrado mais efetivos que simulações e mundos virtuais quanto a resultados de aprendizado. Também são mencionados diversos trabalhos de RV para o ensino de programação, porém, segundo os autores, seu objetivo foi “ajudar a preencher uma lacuna

²¹Similares ao exposto no capítulo 4, por exemplo na figura 4.4

²²Gamificação, no contexto apresentado pelos autores da pesquisa, é a aplicação de elementos de mecânicas de jogos ao ensino.

²³Informações e *screenshots* disponíveis em <<https://www.common-sense.org/education/reviews/lightbot-programming-puzzles>>, acessado 8 de jan. de 2023.

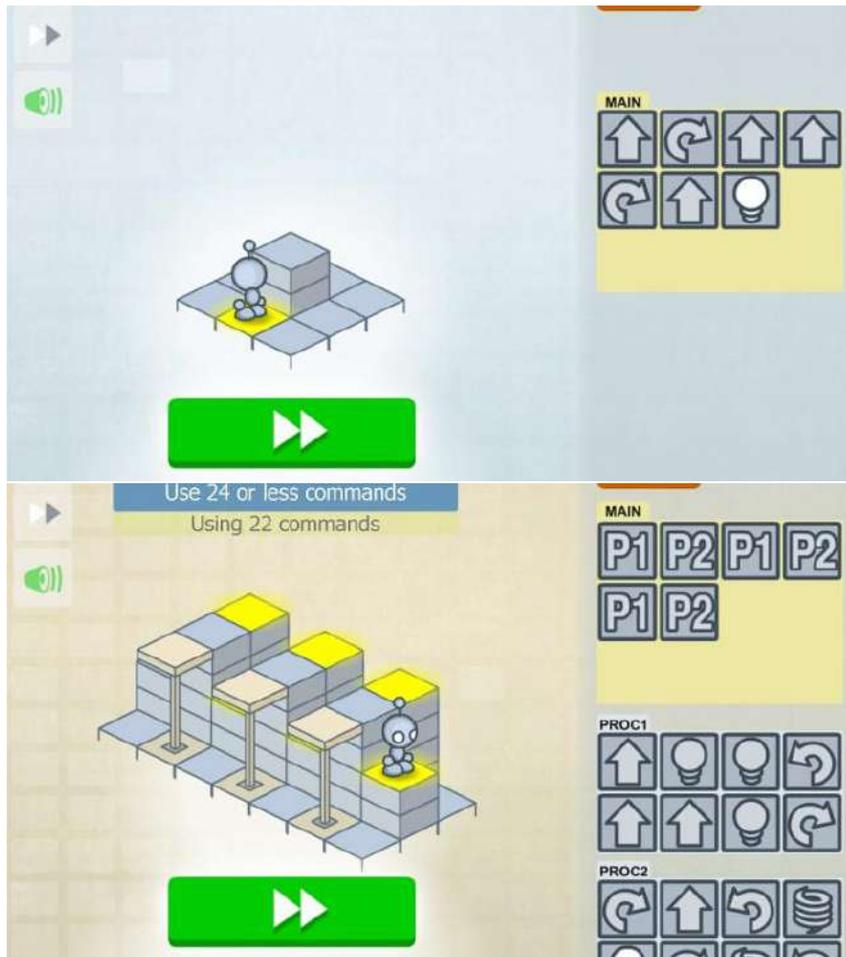


Figura 5.18: LightBot, níveis de exemplo e blocos de comandos.

existente no entendimento de como programação em blocos em RV podem ajudar no entendimento de conceitos básicos de programação”.

As hipóteses apresentadas foram:

1. Hipótese H1: a EIRV irá levar a um maior engajamento.
2. Hipótese H2: o maior engajamento será atribuído à alta interatividade com objetos tangíveis em RV.

A EIRV foi desenvolvida na forma de um jogo de programação em blocos (similar à experiência em 2D), estimulando o pensamento computacional. Instruções para a movimentação de um robô (por exemplo: avançar, girar, pular) eram montadas em uma grade sequencial, através de interação com elementos 3D, minimizando assim o uso de elementos de interfaces gráficas não-diegéticos²⁴. As instruções faziam um robô se movimentar por um labirinto. Os controles do dispositivo permitiam a manipulação dos objetos, via *trackpad*

²⁴Menus flutuantes, botões de começar e parar, poderiam diminuir a imersividade da experiência.

ou botão de gatilho. Segundo as descrições no estudo, não parece haver uma representação corporal (avatar) do usuário. Cinco níveis foram desenvolvidos para serem completados pelos participantes.

Analisando os resultados, Sims et al. (2021) acharam diferenças estatisticamente significativas na atenção focada dos participantes e na usabilidade, maiores para o jogo 2D do que a experiência 3D em RV. Não houveram diferenças significativas no que tangia a apelo estético ou fator de recompensa. Os autores comentam que participantes mencionaram problemas quanto à clareza das instruções (oferecidas em texto, não-diegético), quanto à falta de conforto do *headset* ao ser utilizado, quanto a não-linearidade no aumento da complexidade de solução das tarefas e quanto à dificuldade de interagir com os objetos. Observaram ainda problemas na movimentação dentro do espaço 3D, que acabava exigindo que o participante, sentado, se esticasse de forma demasiada desconfortável para executar certas tarefas, bem como frustração por dificuldades de achar a mesa com os blocos de instrução.

Portanto, nenhuma das hipóteses foi corroborada. Pelo contrário, houve maior engajamento com o aplicativo 2D. Segundo os autores, isso pode ocorrer por conta desse tipo de interface ser mais familiar. Também observam que não houve um apelo estético maior na interface 3D, o que vai de encontro à um consenso em geral, segundo eles, que ainda observam que isso pode se dar devido à uma maior familiaridade do público em geral com o aplicativo 2D. Ainda questionam se mecanismos de *feedback* diferentes poderiam levar a um maior engajamento. Eles concluem que pode ser necessário um cuidado maior no design de interações em RV, incluindo cuidados com amplitude de movimentos, e até mesmo o tipo de equipamento utilizado (dispositivos de menor custo e capacidade reduzida podem ser melhor utilizados para consumo de conteúdo e não interatividade).

Pode-se classificar o *LogiBot* com da seguinte forma:

- Usuários
 - Demografia: 10 participantes, alunos de universidade entre 18 e 55 anos, sendo 3 mulheres, divididos em dois grupos de mesmo tamanho (3D RV e 2D PC).
- Dispositivos
 - Entrada com controle rastreado (DE9).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus GO pré-montado (SV9).
- Atividades de usuário

- Tarefa
 - * postura sentada permitindo mover e rotacionar a parte superior do corpo (AP2);
 - * manipulação de blocos interativos (AT2);
- Ambiente
 - * plataforma fixa, sem movimentação (AA2);
- Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2).
 - Medida: qualitativa (Av3).
 - Avaliador: usuário final (Av5) e especialista (Av6).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes, durante e imediatamente após o uso (Av10/ Av11/ Av12).
 - Fase de desenvolvimento: protótipo funcional (Av15)²⁵.

Quanto a categorização educacional:

- Estratégia de descoberta (E4)²⁶
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), perguntas e respostas (F11).
 - Atividade: gerar e testar hipóteses (A8).
 - Saskatchewan: aprendizado experimental (S5).
 - Bloom: compreensão (B2), aplicação (B3).

5.6.3

Trabalhos relacionados dos autores

Além do outro trabalho selecionado (SIMS; KARNIK, 2021), avaliado na seção a seguir, Sims et al. (2022) apresentam um piloto de um sistema de aprendizado colaborativo, apoiando processos de aprendizado utilizando *palácios de memória* (uma técnica mnemônica espacial) e *repetição espaçada* (uma técnica para treinar o cérebro a reter memórias por longo prazo). Os autores argumentam que RV é uma tecnologia excelente para tangibilizar tais técnicas. O sistema, CleVR, é ilustrado na figura 5.19.

²⁵Os autores mencionam que gostariam de repetir o experimento usando equipamento mais moderno, com mais opções de interação e com um maior número de participantes.

²⁶A estratégia educacional é construtivista, promovendo o desenvolvimento cognitivo, com o uso de raciocínio indutivo, utilizando uma interface concreta para demonstrar conceitos abstratos de programação. Como denotado pelos próprios participantes, entretanto, poderia ser interessante introduzir mais exemplos para clarificação (SIMS et al., 2021, p.4).

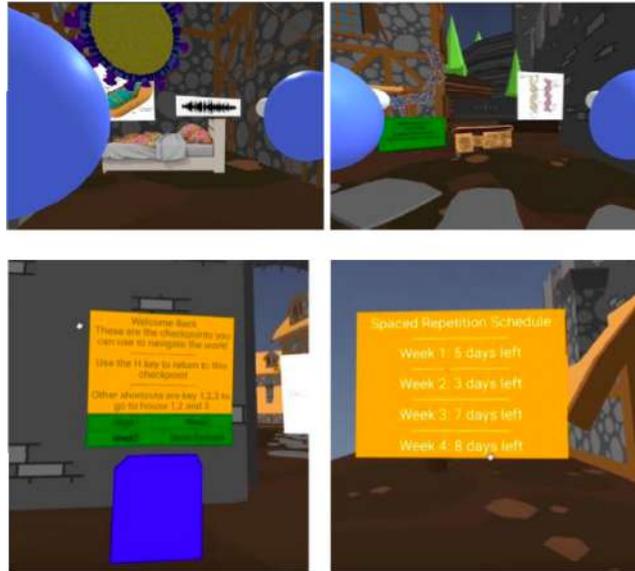


Figura 5.19: O sistema CleVR: Acima, dois colaboradores explorando um tópico em palácios de memória; abaixo, navegação e agenda de repetição espaçada (SIMS et al., 2022).

5.7

VERITAS: Mapeamento mental em realidade virtual

VERITAS: Mind-Mapping in Virtual Reality (SIMS; KARNIK, 2021)

5.7.1

Resumo

Inquiry based learning is a modern and innovative learning strategy that aims to stimulate students' interest in a topic and target Bloom's higher order cognitive process. Reflective tasks, such as mind mapping, support inquiry-based learning. Virtual Reality (VR) presents novel opportunities to help scaffold reflective tasks in inquiry-based learning by supporting use of the 3D space which is not available via existing 2D mind mapping applications. In this paper we present VERITAS, a VR application for mind-mapping based reflective tasks operating on the low-cost Oculus Go device. We discuss the interaction design for the mind-mapping task and evaluate the system from a usability perspective. Our results show that novice participants are able to learn how to use the interactions quickly and utilize them effectively to build mind-maps in 3D. VERITAS establishes the usability of VR and essential interactions to successfully perform abstract and complex reflective tasks like mind-mapping.

Aprendizado baseado em investigação é uma estratégia de aprendizado moderna e inovadora que visa estimular o interesse dos estudantes por um tópico e direcionar o processo cognitivo de ordem superior de Bloom. Tarefas reflexivas, tais como mapeamento mental, apoiam o aprendizado baseado em investigação. A Realidade Virtual (RV) apresenta novas oportunidades para ajudar as tarefas reflexivas fundamentais no aprendizado baseado em investigação por permitir o uso do espaço 3D, que não está disponível em aplicações de mapeamento mental 2D existentes. Neste artigo apresentamos VERITAS, uma aplicação RV para tarefas reflexivas baseadas em mapeamento mental, operando no dispositivo de baixo custo Oculus Go. Discutimos o design interativo para a tarefa de mapeamento mental e avaliamos o sistema a partir de uma perspectiva de usabilidade. Nossos resultados mostram que os participantes iniciantes são capazes de aprender como usar as interações rapidamente e utilizá-las de forma eficaz para construir mapas mentais em 3D. VERITAS estabelece a usabilidade de RV e interações essenciais para realizar com sucesso tarefas de reflexão abstratas e complexas como mapas mentais. (tradução nossa)

5.7.2

Considerações

Sims e Karnik (2021) investigam, em seu estudo, como *headsets* de RV, em especial pelo custo decrescente e pela possibilidade de uso sem fios conectados, podem ser usados para atividades de aprendizado ativas. Os autores consideram *passivas* atividades como assistir vídeos em 360° ou outras atividades com baixa interatividade, ou seja, envolvendo apenas processos cognitivos mais basais como *lembrar* e *entender*. (BLOOM, 1956 apud SIMS; KARNIK, 2021, p.1) Aprendizado investigativo, em contrapartida, é considerado *ativo* e fomenta processos mais complexos de reflexão, como *categorizar* e *organizar*. (SIMS; KARNIK, 2021, p.1) Segundo os autores, há poucas aplicações que estimulem processos ativos.

Foi desenvolvida e analisada para o trabalho uma ferramenta de mapeamento mental (*mind-mapping*) 3D em VR, com o intuito de ser usada em atividades de aprendizado por investigação, ilustrada na figura 5.20.

O aprendizado baseado em investigação (*inquiry-based learning*) é uma estratégia de aprendizado (ver seção 3.3) que promove a construção do conhecimento. Para ser efetivo, ensino investigativo deve ser estruturado²⁷, o que

²⁷Ou, em inglês, utilizar estratégias de *scaffolding* para suportar o aluno.

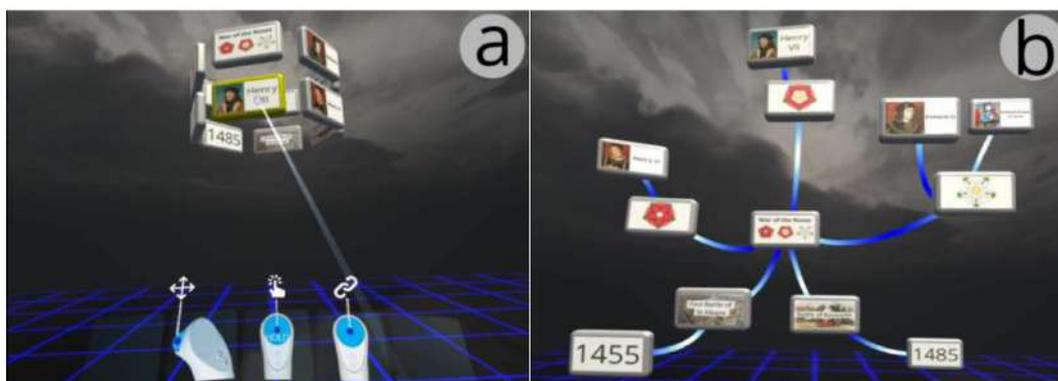


Figura 5.20: Ferramenta VERITAS. (a) Carrossel interativo de peças para uso. (b) Mapa mental completo. (SIMS; KARNIK, 2021)

permite ao aluno engajar-se em tarefas que vão além de suas competências originais. Uma dessas estruturas são os mapas mentais.

Mapas mentais são diagramas que ajudam na organização e memorização de informações, e podem aliviar a carga cognitiva de alunos ((SIMS; KARNIK, 2021, p.2)). Em geral são um diagrama em 2D, começando de um nó central, conectando informações. Segundo os autores, RV oferece oportunidades ímpares de visualização para mapas mentais, incluindo colaboratividade, uso do espaço 3D e múltiplas perspectivas. No entanto, é desafiador projetar uma interface eficiente e intuitiva (digital, tanto em 2D quanto em 3D), que permita ao aluno interagir de forma fluida e reflexiva. O *feedback* é considerado importante para interatividade em VR, tanto háptico quanto auditivo. Esse último foi utilizado no projeto.

É comum experiências em RV, em especial com movimentação virtual ou *vecção*²⁸, causarem náusea nos usuários. Portanto, para minimizar essa possibilidade, a EIRV foi projetada para ser usada por participantes sentados. O principal objetivo do experimento era determinar se os usuários iriam focar na atividade educacional de mapeamento mental e não no uso da ferramenta em RV, bem como se usariam o espaço em 3 dimensões.

No experimento, participantes eram expostos a um tutorial de uso do equipamento, e eram convidados a criar mapas mentais a partir de informações às quais eram expostos antes da EIRV (textos de uma página), escolhidas em sistema de rotação para os participantes. O sistema apresentava objetos pré-definidos (por exemplo, peças com as mesmas informações, texto ou imagens, em seus dois lados), a serem manipulados, organizados e conectados no espaço 3D de 10 x 10 metros. As peças apareciam em um carrossel, permitindo que o usuário visse todas as peças existentes antes de organizá-las. As conexões eram

²⁸ *Vection* ou *vecção* em RV é a sensação de movimentação aparente causada por estímulos visuais.

feitas com curvas, pulsando para demonstrar a direção da relação entre objetos “mães” e “filhas”. O controle manual era espelhado de forma não-diegética na interface, bem como informações adicionais sobre quais ações eram permitidas ao usuário (em um *HUD*²⁹).

As peças eram movidas através de uma espécie de ponteiro laser, a partir do controle do usuário, e a peça poderia ser colocada no espaço, utilizando-se o movimento do controle para translação e o *trackpad* para controlar a distância entre a peça e o usuário. A rotação das peças era ajustada com o usuário entrando em um modo de rotação e então copiando a rotação do controle no espaço (real), desde que superior a um ângulo mínimo de tolerância. As peças podiam ser conectadas selecionando-se uma peça “mãe”, entrando o modo de conexão, e então selecionando uma peça “filha”. As peças podiam ainda ser apagadas. Havia duas tarefas de similar complexidade, a primeira (pré-teste) com dicas de ajuda e a segunda (pós-teste) sem dicas (por exemplo “use o botão B para selecionar um objeto” vs. “selecione um objeto”).

O padrão referência de Questionário de Experiência de Usuário (UEQ) de Schrepp, Thomaschewski e Hinderks (2017) foi utilizado para medir os resultados, quanto aos seguintes seis elementos: atratividade, clareza, eficiência, controle, estimulação e novidade.

Alguns dos resultados observados pelos autores foram:

- Tempo para completar a atividade menor no pós-teste (média aproximada de 190 vs. 100 segundos).
- Todos usuários conseguiram criar um mapa mental.
- A maior parte dos usuários fez uso de todas as três dimensões.
- Participantes ranquearam o sistema com altos índices positivos para atratividade, estimulação e novidade e com índices positivos também para clareza, eficiência e controle.
- Participantes tenderam a utilizar o espaço para criar mapas mentais em um de três estilos: radial, em árvore ou em estrela, indicando que obtiveram sucesso em utilizar a ferramenta para a tarefa reflexiva de mapeamento mental.

Sims e Karnik (2021) denotam ainda que seria interessante expandir a experiência, adicionando colaboratividade com outros usuários. Para mais, mencionam como ainda é necessário mais experimentações (e métodos de avaliação) para entender melhor se o aprendizado ocorre realmente dentro

²⁹*Heads-up display* é uma camada de interface com informações sobrepostas à visão do usuário, estratégia de design muito utilizada em jogos, em especial com perspectiva de primeira-pessoa.

da aplicação de mapeamento mental, e que o sistema VERITAS pode ser expandido para tal.

O trabalho pode ser analisado da seguinte forma:

- Usuários
 - Demografia: 24 participantes universitários, 20 homens e 4 mulheres, 15 entre 18-25 anos e 9 entre 25-50. 4 participantes não tinham experiência anterior com VR, e um apenas uma vez.
- Dispositivos
 - Entrada com controle rastreado (DE9).
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus GO pré-montado (SV9).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura sentada (AP2);
 - * manipulação e seleção de blocos interativos (AT2, AT4);
 - Ambiente
 - * plataforma fixa, sem movimentação (AA2);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: objetiva (Av1, utilizando logs do controle) e subjetiva (Av2, questionários).
 - Medida: qualitativa (Av3, perguntas abertas) e quantitativa (Av4, logs e perguntas/ métricas fechadas).
 - Avaliador: usuário final (Av5) e especialista (Av6).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes, durante e imediatamente após o uso (Av10/ Av11/ Av12).
 - Fase de desenvolvimento: protótipo funcional (Av15).

Pode-se classificar da seguinte forma, quanto à taxonomia educacional:

- Estratégia de apresentação (E5), seguida de investigação, em especial quanto à síntese das informações (E2).
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), apresentação (F9).
 - Atividade: resumos e anotações (A2).

- Saskatchewan: estudo independente (S4).
- Bloom: memorização (B1), compreensão (B2), avaliação (B5)³⁰.

Para trabalhos relacionados dos autores, ver seção 5.9.3.

5.8

QiaoLe: Acessando instrumentos musicais tradicionais chineses em RV

QiaoLe: Accessing Traditional Chinese Musical Instruments in VR
(ZHANG; BRYAN-KINNS, 2022)

5.8.1

Resumo

Virtual Reality (VR) offers the potential for more engaging access to Intangible Cultural Heritage. We present the design of a VR system (QiaoLe) in which people can access and learn about traditional Chinese musical instruments. We undertook a user study of QiaoLe (24 participants) comparing three interaction modes. Results suggest that embodied interaction and gamification improved users' experience, presence, and enjoyment in QiaoLe, but gamification may distract from rote learning.

A Realidade Virtual (RV) oferece o potencial para um acesso mais envolvente ao patrimônio cultural intangível. Apresentamos o projeto de um sistema de RV (*QiaoLe*) o qual as pessoas podem acessar e aprender sobre instrumentos musicais tradicionais chineses. Realizamos um estudo de usuários do *QiaoLe* (24 participantes) comparando três modos de interação. Os resultados sugerem que a interação corporificada e a gamificação aprimoraram a experiência, sensação de presença e apreciação dos usuários no *QiaoLe*, mas que a gamificação pode gerar distrações no aprendizado rotineiro. (tradução nossa)

³⁰Apesar da montagem dos mapas mentais, os blocos eram todos pré-estabelecidos. Considera-se portanto nessa análise que não é o suficiente para chamar de atividade de criação (B6).



Figura 5.21: *QiaoLe*: Modo de exibição.

5.8.2

Considerações

Zhang e Bryan-Kinns (2022) desenvolveram uma EIRV para o engajamento com aspectos musicais do patrimônio cultural intangível (PCI), assunto de impacto social e cultural importante, porém difícil de nutrir. Segundo os autores, o público em geral acessa esse patrimônio por eventos como festivais, lugares como museus ou através de conteúdo online. RV pode oferecer uma oportunidade ímpar capaz de tornar esse acesso mais fácil, imersivo e inovador, e é algo que não foi profundamente estudado, em especial no que tange PCI musical. Salientam ainda O aspecto de interação corporificada (assim como Johnson-Glenberg et al. (2020) fizeram na seção 5.4) e o papel que esse tipo de interação humano-computador pode ter em experiências educativas com foco em descoberta pelos participantes.

Tal como na seção 5.6, o trabalho de Zhang e Bryan-Kinns (2022) denota o aspecto da gamificação, cujos elementos e mecânicas podem ser usados para aumentar a motivação dos “jogadores”. Segundo os autores, não houve muita exploração dessas estratégias para engajamento do PCI musical, apesar de haver estudos com resultados positivos no uso de gamificação para aprender a tocar certos instrumentos e para apoiar o acesso ao patrimônio cultural.

Portanto, foi construída uma EIRV usando gamificação e corporificação para aumentar o engajamento e ajudar participantes a aprender sobre PCI musical de instrumentos antigos chineses. A experiência provia 3 modos de interação: exibição, livre e gamificado; demonstrando três instrumentos de percussão tradicionais chineses pouco conhecidos, porém fáceis de tocar e de simular em RV.

O modo de exibição, foi utilizado como nível base para comparação, informando por texto e demonstrando o áudio do instrumento com uma gravação com vídeo, porém sem interação direta com o mesmo (figura 5.21).



Figura 5.22: *QiaoLe*: Modo livre.

O modo livre também informava em texto, porém permitia o uso de uma baqueta para fazer o instrumento produzir sons (figura 5.22).

No modo gamificado, além da informação textual, os usuários deveriam tentar reproduzir no instrumento uma melodia de cinco notas apresentadas em áudio (figura 5.23).

No procedimento de estudo, segundo os autores, todos participantes (24 no total) experimentaram o modo de exibição primeiro. Em seguida, metade dos participantes (por seleção aleatória) usou o modo aberto seguido do modo gamificado, enquanto a outra metade fez a ordem contrária. A experiência total durou cerca de 45 minutos, e foi feita de forma remota via plataforma de teleconferência *Zoom*.³¹

Os autores apontam os seguintes resultados:

- Maior sensação de *presença* nos modos aberto e gamificado.
- Maior sensação de estar “experimentando o instrumento real” nos modos aberto e gamificado.
- Maior apazibilidade no modo de gamificação, seguido do modo aberto e por último o modo de exibição.
- Quanto ao aprendizado, apenas conhecimento sobre a data dos instrumentos demonstrou ser afetado pelos diferentes modos. O modo livre foi

³¹Ao avaliar o estudo no presente trabalho, não ficou claro se essa informação está correta, pois algumas observações e resultados avaliados oferecem informações aparentemente contraditórias.

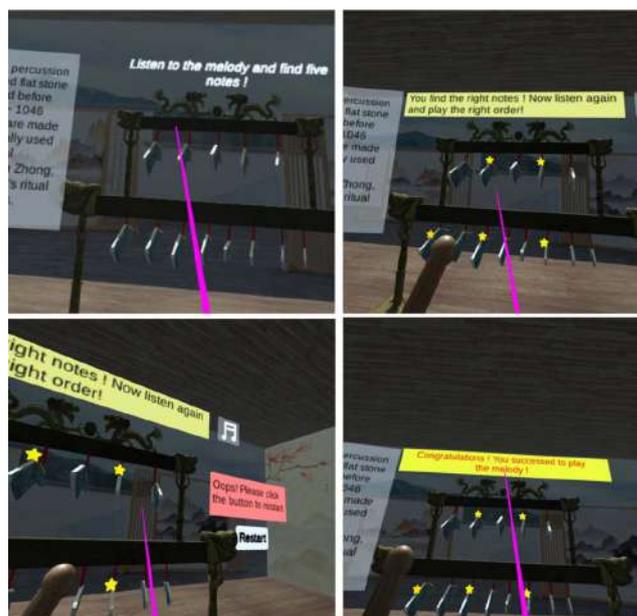


Figura 5.23: *QiaoLe*: Modo com gamificação.

o mais efetivo (92% de acerto), seguido do modo exibição (75%) e por último o modo de gamificação (33%).

- O modo de gamificação foi mais impactante em respostas quanto aos levantamentos: “eu gostaria de repetir a experiência”, “a experiência atendeu ou superou minhas expectativas” e “o protótipo é fácil de utilizar”.
- Participantes acharam a experiência divertida, em especial nos modos aberto e gamificados.
- Os participantes observaram que gostavam muito da parte guiada no modo gamificado, lhes permitindo entender o que era possível fazer.
- Bugs no protótipo atrapalharam certos participantes, impactando a usabilidade em especial no modo gamificado.
- Apesar de ser qualificado pelos participantes como de fácil acesso, o texto descrevendo os instrumentos não foi qualificado como memorável.
- A experiência em si pareceu memorável e os instrumentos, seus nomes, formato e sons foram descritos com facilidade pelos participantes em geral.
- Participantes que não viram vídeos se sentiram confusos sobre como tocar os instrumentos.

Zhang e Bryan-Kinns (2022) apresentaram quatro perguntas sobre os instrumentos em seus questionários (perguntas 14 a 18), porém apenas a pergunta 16, sobre a data de origem dos instrumentos, pareceu ter efeito

dos diferentes modos. Não se parece ser possível afirmar que houve um impacto maior ou menor no aprendizado pela EIRV. Entretanto, parece claro o potencial para gerar engajamento e interesse. Poderia ser útil comparar o aprendizado com uma experiência não-imersiva.

Pode-se caracterizar o *QiaoLe* da seguinte maneira:

- Usuários
 - Demografia: 24 participantes, 17 homens e 7 mulheres, 23 entre 26 e 33 anos e 1 entre 41 e 47. Todos tinham seu próprio equipamento de VR, portanto assume-se experiência anterior com tais sistemas.
- Dispositivos
 - Assume-se entrada com controles rastreados (DE9), mas não foi declarado no estudo³².
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, Oculus Rift (3 usuários) e Oculus Quest (21 usuários) (SV9) e auditivo (SA1).
- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura, assume-se sentada (AP2), porém não declarada no trabalho;
 - * manipulação de instrumentos interativos (AT2);
 - Ambiente
 - * plataforma fixa, sem movimentação (AA2);
 - Aplicação: educação (AAp1).
- Avaliação
 - Medição: subjetiva (Av2, questionários).
 - Medida: qualitativa (Av3, perguntas abertas) e quantitativa (Av4, perguntas/ métricas fechadas).
 - Avaliador: usuário final (Av5).
 - Localização: online (Av9).
 - Período: imediatamente após o uso (Av12).
 - Fase de desenvolvimento: protótipo funcional (Av15).

Quanto aos aspectos educacionais:

³²Por vídeo de demonstração, pode-se inferir que foram usados dois controles, com movimentação controlada por um deles. Disponível em <<http://www.creativeai.org.cn/?p=1916>>, acessado 30 de jan. de 2023.

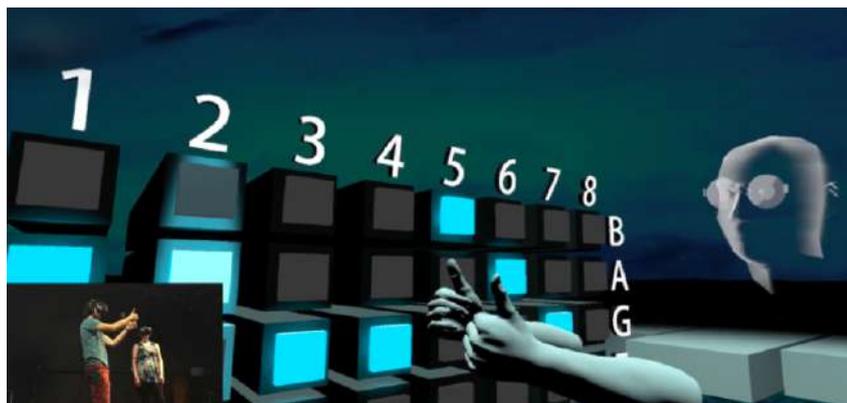


Figura 5.24: Dois participantes utilizando o LeMo para construir um *loop* musical em RV. (MEN; BRYAN-KINNS, 2018)

- Estratégia de apresentação (E5), seguida seguida (conforme explicitado pelos próprios autores) de descoberta (E4).
- Taxonomia:
 - Foco: no aluno (F1), simulação (F7).
 - Atividade: gerar e testar hipóteses (A8).
 - Saskatchewan: aprendizado experimental (S5).
 - Bloom: memorização (B1), aplicação (B3).

5.8.3

Trabalhos relacionados dos autores

Em Men e Bryan-Kinns (2018) e Men e Bryan-Kinns (2019), os autores examinam um sistema de composição musical colaborativo chamado LeMo (figura 5.24), em especial quanto ao design de *ambientes virtuais compartilhados* que suportam a colaboração criativa entre dois participantes. O experimento utiliza os conceitos de *espaço* — que apesar de definido em termos físicos como “uma matéria, uma invenção, uma construção que permite às pessoas agirem” (p.72) pode ser perfeitamente aplicável a espaços virtuais em RV — e de *território* — “uma reivindicação sobre o espaço que auxilia as pessoas em mediar sua interação social” (p.73) — para permitir a experimentação, alternando entre criatividade individual e colaboração estreita. O design da experiência testa o uso de áreas de trabalho pessoais (figura 5.25) e o surgimento de territorialidade como estratégia de colaboração, e propõem que o design de ambientes virtuais colaborativos utilizem: configurações dispostas lado-a-lado ou frente-a-frente com interfaces transparentes e sem direção determinada para as informações compartilhadas; espaços de trabalho pessoais com controle de acesso e visibilidade pública.

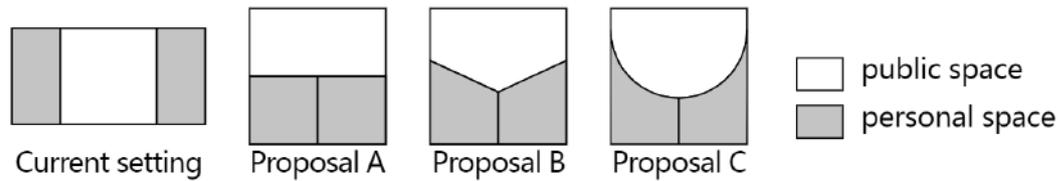


Figura 5.25: *LeMo*: Propostas de tipos de espaços, com áreas de trabalho pessoais e públicas. (MEN; BRYAN-KINNS, 2019)

Em Men et al. (2017), os autores abordam ao impacto (em especial quanto à imersão) de transições entre cenas, ou espaços em RV, e concluem que uma transição do tipo “corte simples” (*SimpleCut*) minimiza a quebra da imersão quando comparada a outros três tipos de transição, uma contribuição interessante para o design de experiências de RV com troca de cenas ou espaços.

Ratcliffe et al. (2021) analisam estudos remotos de realidades mediadas (não em laboratório com um pesquisador presente, como é mais habitual) e sugerem que esses tipos de tecnologia podem constituir uma abordagem de pesquisa útil, em especial quanto a capacidades de coleta de dados de equipamentos modernos.

5.9

Promovendo a tomada de decisão ética em realidade virtual

Advancing Ethical Decision Making in Virtual Reality (KANG et al., 2019)

5.9.1

Resumo

Virtual reality (VR) has been widely utilized for training and education purposes because of pedagogical, safety, and economic benefits. The investigation of moral judgment is a particularly interesting VR application, related to training. For this study, we designed a within-subject experiment manipulating the role of study participants in a Trolley Dilemma scenario: either victim or driver. We conducted a pilot study with four participants and describe preliminary results and implications in this poster.

A realidade virtual (RV) tem sido utilizada amplamente para fins de treinamento e educação devido a benefícios pedagógicos, de segurança e econômicos. A investigação de decisões éticas é uma aplicação particularmente interessante da RV, relacionada ao treinamento. Para este estudo, projetamos uma experiência que

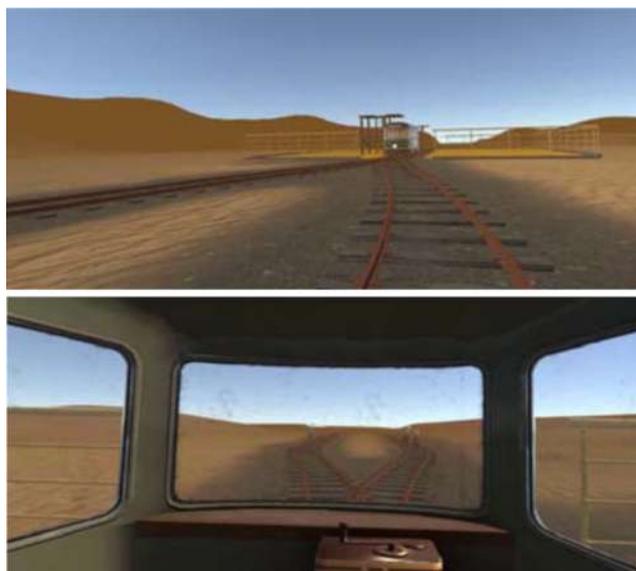


Figura 5.26: Pontos de vista de vítima (acima) e de condutor (abaixo).

manipula o papel dos participantes do estudo em um cenário do *dilema do bonde*: vítima ou condutor. Conduzimos um estudo piloto com quatro participantes e descrevemos os resultados preliminares e as implicações nesse cartaz. (tradução nossa)

5.9.2 Considerações

Nesse poster, Kang et al. (2019) apresentam os testes-piloto de uma EIRV que colocou 4 participantes dentro um cenário do dilema do bonde³³. Os autores argumentam que RV permite práticas com simulações de muito menor risco e custo do que práticas físicas. Enquanto experimentos de pensamento em geral irão demandar a imaginação dos interlocutores e tendem a minimizar o impacto de questões como urgência e perigo iminente, uma EIRV análoga pode afetar decisões morais de forma diferente.

Os autores apontam que já existem alguns trabalhos examinando este problema (KANG et al., 2019, p.1), tanto em RV como em outras mídias. A diferença de seu experimento é que pode colocar os participantes tanto no lugar do condutor quanto no lugar da vítima. A figura 5.26 mostra a cena a partir de diferentes pontos de vista.

Participantes recebiam instrução primeiro em texto sobre o dilema do bonde, logo após sobre como operar o sistema e controlar qual lado o bonde tomaria. Isso era inicialmente demonstrado sem vítimas, apenas caixas nos trilhos. Havia indicadores visuais (por exemplo a seta apontando para qual

³³O dilema do bonde (*trolley problem* em inglês) é um experimento de pensamento com um cenário extremo, utilizado para testar e questionar o pensamento em ética.



Figura 5.27: Alavanca física utilizada para redirecionar o bonde (esquerda) e sua representação virtual (direita).

lado o bonde iria, ilustrada na figura 5.27) e auditivos (som de sino) para indicar a aproximação do bonde. Uma decisão deveria ser tomada antes do terceiro toque do sino.

Na primeira condição, de vítima, o participante deveria escolher entre permitir que o bonde atropelasse 5 trabalhadores ou mudar o trilho em sua própria direção. Na segunda condição, o participante, como condutor, deveria escolher permitir que 5 trabalhadores morressem ou acionar o controle para que apenas um morresse. Quatro participantes participaram do teste desse piloto.

Nas conclusões preliminares, as decisões tomadas pelos participantes após a versão em texto e a EIRV foram consistentes para o cenário de condutor, com 50% decidindo de forma utilitária (agir e salvar 5 pessoas) e a outra metade de forma não-utilitária (não agir e permitir que as 5 pessoas fossem mortas). No entanto, no caso do papel de vítima, 3 dos 4 participantes escolheram agir e se deixarem atropelar, sugerindo uma maior empatia, possivelmente gerada pela experiência em RV quando no papel de vítima³⁴.

O experimento pode ser caracterizado da seguinte maneira:

- Usuários
 - Demografia: 4 participantes, 3 mulheres e 1 homem, com média de idade de 31 anos.
- Dispositivos
 - Usa as mãos, sem rastreamento, ancorado ao mundo (DE10)³⁵.
 - Saída: visual, ancorado ao usuário, HTC Vive (SV9) e auditivo (SA1).

³⁴Não foi encontrada ainda a publicação de resultados com mais participantes, o que permitiria conclusões mais assertivas.

³⁵Ao menos no caso do papel de vítima; não ficou claro no caso de condutor.

- Atividades de usuário
 - Tarefa
 - * postura em pé (AP1)³⁶.
 - * manipulação dos controles de direcionamento do bonde (AT2);
 - Ambiente
 - * plataforma fixa, sem movimentação (AA2);
 - Aplicação: outra (AAp4).
- Avaliação
 - Medição: objetiva (dados de rastreamento da cabeça e movimento da alavanca, decisão da escolha do trilho) (Av1).
 - Medida: quantitativa (Av4).
 - Avaliador: especialista (Av6).
 - Localização: laboratório (Av7).
 - Período: antes e durante o uso (Av10, Av11).
 - Fase de desenvolvimento: protótipo funcional (Av15).

Em termos educacionais:

- Estratégia de apresentação (E5), seguida seguida de descoberta (E4).
- Taxonomia:
 - Foco: resolução de problemas (F3), role-play (F6) e simulação (F7).
 - Atividade: identificar similaridades e diferenças (A1).
 - Saskatchewan: aprendizado experimental (S5).
 - Bloom: aplicação (B3).

5.9.3

Trabalhos relacionados dos autores

A pesquisadora principal, S.Kang³⁷, publicou várias obras, em especial no tocante a interação social via tecnologia, com avatares de humanos ou até mesmo humanos virtuais e IHC em realidades mediadas.

MacIntyre et al. (2003) descrevem uma experiência artística em Realidade Aumentada, baseada na peça “Doze homens e uma sentença”, de Sidney Lumet (1957). Esta relaciona-se com a EIRV avaliada, no sentido de que é possível experimentar o ponto de vista de diferentes jurados da narrativa (figura 5.28). Em especial, argumentam que designers de experiências de realidades mediadas devem ter acesso a ferramentas efetivas para esboçar e visualizar suas ideias. Outra sugestão é a ideia da sensação de presença aplicada à avaliação de experiências de Realidade Aumentada, não apenas de Realidade Virtual.

³⁶Novamente, não ficou claro no caso de condutor.

³⁷Mais informações sobre a autora, que também publica sob a abreviatura S.H.Kang, estão disponíveis em seu site: <<http://www.sinhwakang.net/>>, acessado 20 de fev. de 2023.



Figura 5.28: Dois outros jurados, vistos do ponto de vista do terceiro jurado.(MACINTYRE et al., 2003)



Figura 5.29: Participante sendo tocado para simular a sensação háptica quando interagindo com um humano virtual.(KRUM; KANG; PHAN, 2018)

Yeom, Choi e Kang (2019) investigam efeitos de EIRVs em termos de sensações e respostas fisiológicas, e seus achados sugerem que a sensação da temperatura ambiente pode ser influenciada pela sensação de presença na EIRV. Como experiências virtuais, portanto, tem o potencial de afetar respostas fisiológicas, é relevante considerar como isso também pode impactar o aprendizado.

Krum, Kang e Phan (2018) abordam aplicações imersivas de treinamento que utilizam interações com “humanos virtuais” e quais os fatores que fazem com que essas interações sejam mais ou menos naturais, em especial analisam o efeito da sensação háptica (toque, ver figura 5.29) e diferentes maneiras de locomoção (utilizando um joystick comparado ao andar natural) dentro de EIRVs. Os achados indicam que a designers de sistemas de treinamento devem considerar cuidadosamente o impacto de suas escolhas na interação social (com humanos virtuais ou reais) dos usuários.

Pütten et al. (2010) avaliam o comportamento de usuários ao lidar com avatares projetados para dar maior ou menor impressão de serem controlados por uma pessoa ou computador (diferentes níveis de realismo em seu comportamento). O estudo empírico confirmou a hipótese de que “quanto mais computadores apresentarem características associadas com humanos, mais provável eles causarem comportamento social”, inclusive com indicações do impacto de deixas sutis de comportamento como acenos da cabeça. Outro achado é que não se confirmou a hipótese de que personagens controlados por humanos sempre

iriam causar comportamento social, enquanto humanos virtuais dependeriam do realismo de seu comportamento.

6 Correlações

A seguir, examinamos comparativamente as características dos trabalhos, como exposto no capítulo 5, com o objetivo de avaliar pontos em comum e diferenciações das experiências analisadas. Na seção 6.3, utilizamos esse estudo comparativo para levantar hipóteses e sugestões que, acreditamos, tem o potencial para contribuir significativamente no design de experiências imersivas com o objetivos educativos.

6.1 Análises dos achados

Analisando cada trabalho, consideramos duas categorias de sucesso: aprendizado e engajamento, sumarizados na tabela 6.1.

6.1.1 Análise de trabalhos com efeitos positivos em aprendizado e engajamento

Os trabalhos selecionados que, após a análise da presente pesquisa, pareceram demonstrar um efeito positivo significativo tanto em aprendizado quanto em engajamento, são listados e apresentam as características listadas em sequência.

- **T3** iProgVR: Design de um ambiente de Realidade Virtual para aprimorar o aprendizado introdutório de programação (WEE; YAP; LIM, 2022)
- **T4** Educação STEM corporificada com agência: Efeitos de RV 3D comparada a PCs com 2D (JOHNSON-GLENBERG et al., 2020)
- **T5** Cinemática de movimentação em realidade virtual aumenta eficiência do aprendizado (NERSESIAN; VINNIKOV; LEE, 2021)
- **T7** VERITAS: Mapeamento mental em realidade virtual (SIMS; KARNIK, 2021)

- Em termos de UX
 - Todos os trabalhos com bons resultados de aprendizado também tiveram alto engajamento, mas não o contrário.
 - Utilizaram controles com rastreamento (DE9).
 - Utilizaram um *headset* pré-montado (SV9), não baseado em smartphone nem com transparência, podendo ver o ambiente.

Trabalho	Aprendizado	Engajamento
T1 Explorando efeitos da interatividade no aprendizado com contação interativa de histórias em realidade virtual imersiva (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b)	—	✓
T2 Experimento corporificado de levitação em microgravidade em um ambiente simulado em realidade virtual para o aprendizado de ciência (TAMADDON; STIEFS, 2017)	—	✓
T3 iProgVR: Design de um ambiente de Realidade Virtual para aprimorar o aprendizado introdutório de programação (WEE; YAP; LIM, 2022)	✓	✓
T4 Educação STEM corporificada com agência: Efeitos de RV 3D comparada a PCs com 2D (JOHNSON-GLENBERG et al., 2020)	✓	✓
T5 Cinemática de movimentação em realidade virtual aumenta eficiência do aprendizado (NERSESIAN; VINNIKOV; LEE, 2021)	✓	✓
T6 Logibot: Investigando engajamento e desenvolvimento de pensamento computacional através de realidade virtual (SIMS et al., 2021)	—	—
T7 VERITAS: Mapeamento mental em realidade virtual (SIMS; KARNIK, 2021)	✓	✓
T8 QiaoLe: Acessando instrumentos musicais tradicionais chineses em RV (ZHANG; BRYANKINNS, 2022)	—	✓
T9 Promovendo a tomada de decisão ética em realidade virtual (KANG et al., 2019)	—	—

Tabela 6.1: Classificações dos trabalhos segundo os resultados alcançados com os participantes.

- Empregaram tarefas de manipulação (AT2).
- Utilizaram uma plataforma fixa (AA2).
- Aplicações educativas (AAp1).
- Foram avaliados de forma subjetiva (Av2) e qualitativa (Av3).
- Foram avaliados em laboratório (Av7).
- Houve um levantamento pré-experiência (Av10) e pós-experiência (Av12).
- Em termos educacionais:
 - Foco no aluno (F1).
 - Nenhum utilizou um processo de criação (B6).
 - Há muito pouca consistência entre as estratégias e taxonomias educacionais.

6.1.2

Análise de trabalhos com resultados não significativos

Seguem as características em comum dos trabalhos (listados abaixo) cujo resultado quanto ao aprendizado e engajamento consideramos não significativos:

- **T6** Logibot: Investigando engajamento e desenvolvimento de pensamento computacional através de realidade virtual (SIMS et al., 2021)
- **T9** Promovendo a tomada de decisão ética em realidade virtual (KANG et al., 2019)
- Em termos de UX
 - Nenhum utilizou rastreamento sem as mãos (DE2 a DE6).
 - Utilizaram um *headset* pré-montado (SV9).
 - Empregaram tarefas de manipulação (AT2).
 - Utilizaram uma plataforma fixa (AA2).
 - Foram avaliados por especialistas (Av6).
 - Foram avaliados em laboratório (Av7)
 - Houve um levantamento pré-experiência (Av10) e durante a experiência (Av11).
 - Todos estavam em fase de protótipo funcional (Av15).
- Em termos educacionais:
 - Utilizaram estratégias de descoberta (E4).
 - Podem ser classificados como aprendizado experimental (S5).
 - Podem ser classificados como estágio de aplicação segundo a taxonomia de Bloom (B3)¹

¹Saber quando e por que razão *aplicar* um determinado conceito; pode ser utilizado em estratégias educacionais como modelagem, estudos de caso, simulações, algoritmos, etc. (AKDENIZ, 2016, p.71)

6.1.3

Análise de trabalhos com bom engajamento

Quanto aos trabalhos que tiveram resultados considerados positivos quanto ao engajamento, porém sem aproveitamento educacional significativo:

- **T1** Explorando efeitos da interatividade no aprendizado com contação interativa de histórias em realidade virtual imersiva (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b)
- **T2** Experimento corporificado de levitação em microgravidade em um ambiente simulado em realidade virtual para o aprendizado de ciência (TAMADDON; STIEFS, 2017)
- **T8** QiaoLe: Acessando instrumentos musicais tradicionais chineses em RV (ZHANG; BRYAN-KINNS, 2022)
- Em termos de UX
 - Utilizaram um *headset* pré-montado (SV9), não baseado em smartphone nem com transparência (podendo ver o ambiente).
 - Nenhum utilizou postura em pé (AP1).
 - Nenhum utilizou plataforma móvel (AA1).
 - Aplicações educativas (AAp1).
 - Apenas foram avaliados de forma subjetiva (Av2) e qualitativa (Av3) e não objetiva (Av1).
 - Foram avaliados pelo usuário final (Av5), após o uso (Av12).
- Em termos educacionais:
 - Foco no aluno (F1).
 - Todos foram classificados como estágio de aplicação (B3).

6.2

Características dos conjuntos de trabalhos

6.2.1

Características em comum de todos os trabalhos

- Em termos de UX
 - Todos utilizaram um *headset* pré-montado (SV9).
 - Todos, exceto T1: Zhang, Bowman e Jones (2019b), implementaram tarefas de manipulação (AT2).
 - Não utilizaram plataforma móvel (AA1), exceto T2: Tamaddon e Stiefs (2017).
 - Quase todos eram aplicações educativas (AAp1), exceto T9: Kang et al. (2019) (AAp4).
 - Quase todos foram avaliados de forma subjetiva (Av2) e qualitativa (Av3), exceto T9: Kang et al. (2019).
 - Quase todos foram avaliados em laboratório (Av7), exceto T8: Zhang e Bryan-Kinns (2022) (Av9).
 - Quase todos fizeram avaliações antes do uso (Av10), exceto T8: Zhang e Bryan-Kinns (2022).
 - Quase todos fizeram avaliações após a experiência (Av12), exceto T9: Kang et al. (2019).
 - Não fizeram uma avaliação posterior (Av13), exceto T5: Nersesian, Vinnikov e Lee (2021).
- Em termos educacionais:
 - Todos tiveram foco no aluno (F1), exceto T9: Kang et al. (2019).
 - Nenhum teve foco em apresentação (F9), nem atividades de resumos e anotações (A2), exceto T7: Sims e Karnik (2021).
 - Nenhum teve atividade de representação não linguística (A5) exceto T3: Wee, Yap e Lim (2022).
 - Nenhum teve atividade de elaborar objetivos e feedback (A7), exceto T4: Johnson-Glenberg et al. (2020).
 - Nenhum foi classificado como estudo independente (S4), exceto T7: Sims e Karnik (2021).

6.2.2

Características significativas

Baseado nas análises anteriores, podemos inferir que as características significativas dos trabalhos que tiveram resultados considerados positivos quanto ao aprendizado são:

- Em termos de UX
 - Priorizam o resultado educacional e não o engajamento.
 - Utilizam controles com rastreamento (DE9).
 - Aplicações educativas (AAp1).
 - Foram avaliados de forma subjetiva (Av2) e qualitativa (Av3).
 - Houve um levantamento pós-experiência (Av12).
- Em termos educacionais:
 - Foco no aluno (F1).
 - Há muito pouca consistência entre as estratégias e taxonomias educacionais.

6.3

Hipóteses e sugestões

A partir dos levantamentos acima, podemos postular algumas hipóteses e sugestões:

1. As EIRVs criadas tiveram facilidade para gerar engajamento, mas isso não necessariamente se reflete em resultados educacionais.
2. A diversidade de assuntos selecionados demonstra o potencial da aplicação de Realidade Virtual para educação em diversas áreas. Os trabalhos discorreram sobre conceitos tão diversos quanto imunologia, física, programação, biologia, representação de informações, música e ética.
3. Apesar de quase todos os trabalhos selecionados (exceto T9) terem foco em educação, o design e estratégias educacionais parecem ficar em segundo plano. Postulamos que pode ser necessário focar conscientemente no design instrucional da experiência, e não apenas na experiência de usuário para obter melhores resultados de aprendizado significativos.
4. Não é possível afirmar que um *headset* pré-montado (SV9) é necessário, apesar de ubíquo. Pode ser interessante fazer mais experimentos com tecnologias baseadas em *smartphones*, por exemplo.

5. Controles com rastreamento (DE9) parecem levar a melhores resultados, porém como apenas 2 dos 9 trabalhos se utilizaram de estratégias diferentes, isso pode ser um reflexo da amostragem final, sem relação de causalidade com os resultados. Sugerimos que seria interessante procurar mais trabalhos publicados nesse sentido ou criar experimentos para verificação empírica.
6. Trabalhos com avaliação subjetiva e qualitativa (Av2, Av3), pelo próprio participante (Av6) e após a experiência foram a maioria, mas cogitamos se isso deve-se mais à conveniência e dificuldades técnicas do que com o objetivo de maior precisão da avaliação. Metodologias mais objetivas poderiam ajudar nas análises e conclusões.
7. Apenas um trabalho (T5) fez uma avaliação em mais longo prazo (Av13), portanto é difícil fazer afirmações sobre a fixação do aprendizado. É recomendável, portanto, que se façam mais pesquisas utilizando avaliações posteriores.
8. Em 5 casos, houveram intervenções de análise durante a experiência (Av11). Supõe-se que nem todos fizeram esse tipo de avaliação, para evitar a quebra da imersão. Como o engajamento, observamos, aparenta ser mais fácil de alcançar do que o aprendizado, sugerimos que seria positivo fazer avaliações *durante* uma experiência, e evitar tal procedimento por temer uma quebra de imersão não é necessariamente uma preocupação importante.
9. Praticamente todas as experiências tiveram foco no aluno (F1), o que é compreensível, porém pode ser eficaz para educação explorar outras estratégias, como foco em instrutores (F2, S1). Sugerimos, portanto, que pode ser importante estudar aplicações com maior foco no papel de instrutores durante processos de experiência de aprendizado.
10. Nenhum dos trabalhos ofereceu atividades colaborativas (F4, A6, E1). Uma miríade de técnicas colaborativas poderiam ser exploradas. Algumas destas técnicas de ensino em grupo, dentre as citadas por Akdeniz (2016, p.154-155) são: painéis de discussão, *brainstorming*, seminários, Philips 66, *workshops*, *six thinking hats*, *think-pair-share*, *round robin*, debates críticos, tomadas de notas em pares, *role-play*, investigações em grupo, mesas redondas e jogos com times.
11. Nenhum dos trabalhos analisados deu ênfase a uma estratégia focada no estágio de criação (B6). Em uma experiência interativa poderia ser

muito valioso para o aprendizado permitir esse tipo de experimentação. Existem várias experiências criativas, mas muitas são focadas em expressões artísticas ou de entretenimento. Por exemplo, o “Teatro Imersivo de Realidade Mista” do NYU Future Reality Lab, [...] promete novas possibilidades expressivas emocionantes para narrativas digitais imersivas, participativas, em sistema multiusuário.” (SPITZ, 2021, p.68). Esse tipo de experimentação pode servir de inspiração para criar experiências criativas com foco em aprendizado.

12. Diversas formas de *feedback* (saída) possíveis não foram utilizadas, mesmo as mais acessíveis como saída háptica. Pode ser uma área interessante de exploração em pesquisas quanto ao efeito no aprendizado.
13. Apenas um dos trabalhos avaliados (T7) tinha um mecanismo de resumos e anotações (A2). Entretanto, essa é uma atividade importante quando se pensa em educação. Explorar mecanismos de anotações dentro de EIRV educativas poderia potencializar o aprendizado.
14. A grande maioria das EIRVs avaliadas apresentam uma experiência de simulação próxima da realidade, mas a tecnologia de realidade virtual permite muito mais. Poderia-se pensar, por exemplo em: mudanças de escala (usada apenas em T1, inserindo o participante em um leucócito); viagens no tempo (que poderia ter sido explorada para visitar as eras dos instrumentos em T8); alterações de percepção temporal (onde o tempo passasse mais lentamente ou mais rapidamente, o que poderia ser utilizado durante a escolha do trilho do bonde em T9); das próprias leis da física (o que poderia alterar a experiência com microgravidade e permitir atividades mais interativas em T2) e muito mais.

As figuras 6.1, 6.2 e 6.3 refletem os elementos de UX e taxonomias educacionais que *não* apareceram na classificação dos trabalhos avaliados, e podem apontar lacunas a serem preenchidas por novas pesquisas. Algumas delas já foram mencionadas acima.

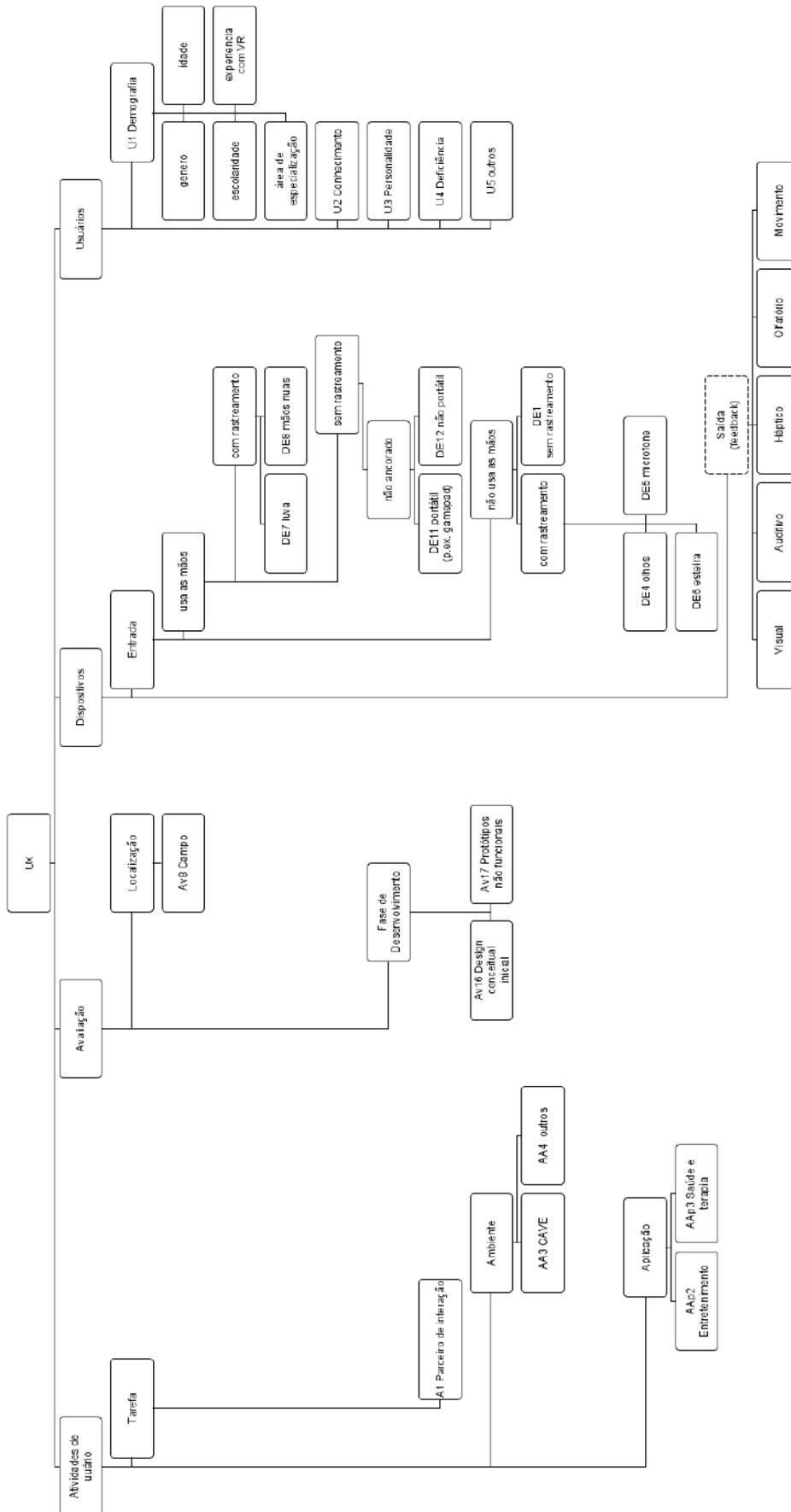


Figura 6.1: Elementos de UX que não apareceram nos trabalhos avaliados.

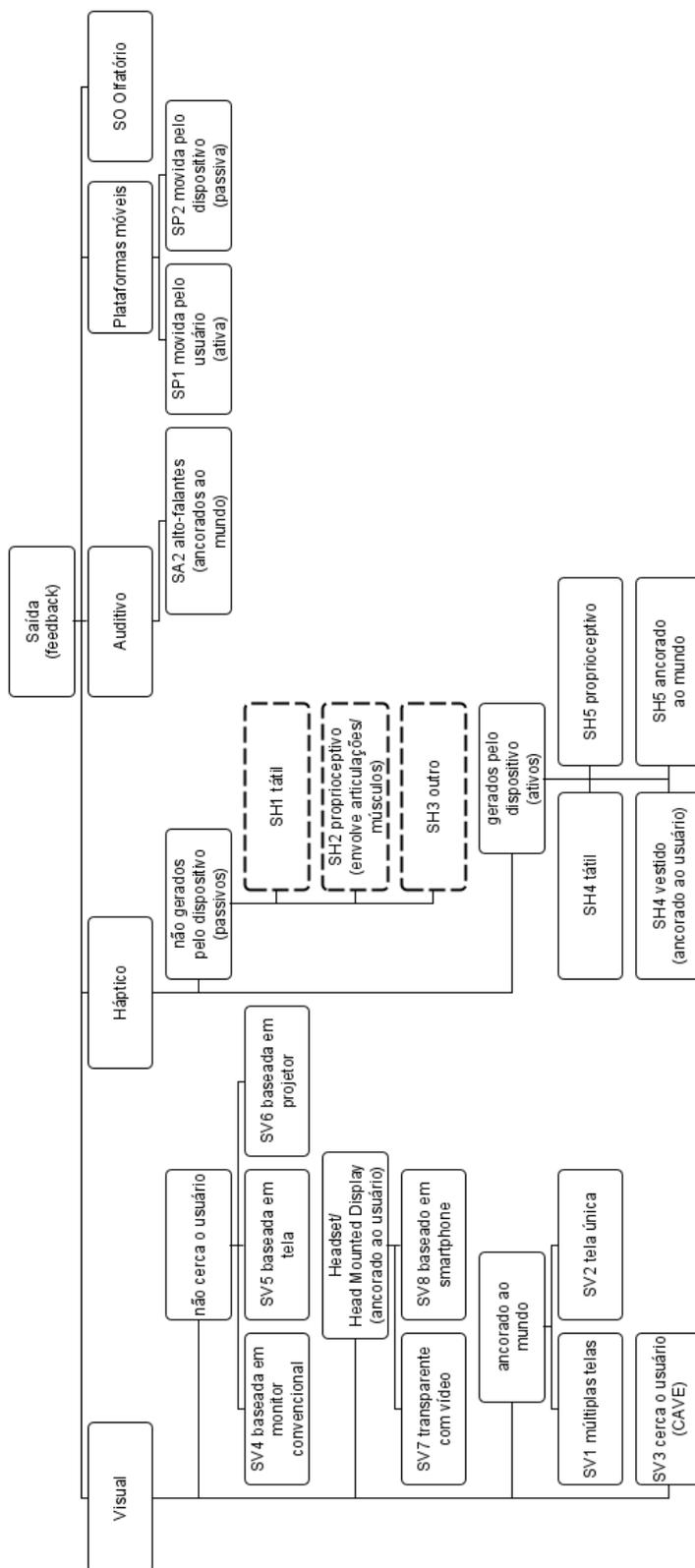


Figura 6.2: Elementos de saída que não apareceram nos trabalhos avaliados.

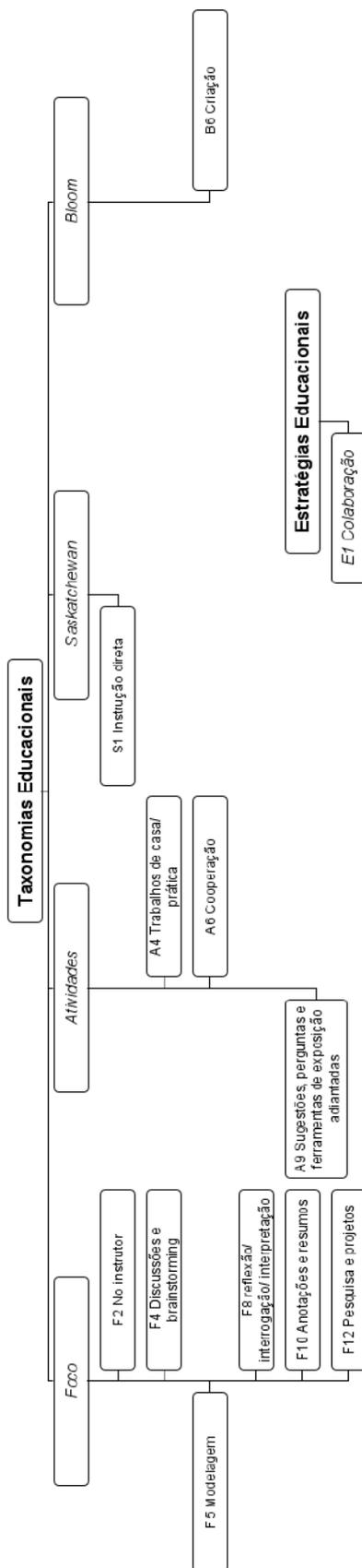


Figura 6.3: Estratégias e taxonomias educacionais que não apareceram nos trabalhos avaliados.

7

Considerações finais

O entendimento público da ciência e de outros assuntos complexos é indispensável para a sociedade. A ciência e suas aplicações desempenham um papel fundamental na vida moderna, assim como na saúde, meio-ambiente, tecnologia e até política. Portanto, é importante que as pessoas em geral tenham ao menos uma compreensão básica desses assuntos, para que possam participar de discussões e tomar decisões informadas, bem como para mitigar a desinformação, o que é tão comum na atualidade.

Essa compreensão e comunicação faz parte de uma dinâmica sempre em evolução. Mudanças em mídias, tecnologias e comportamentos sociais fazem necessária uma contínua adaptação e buscas de ferramentas para engajamento.

As ciências humanas, em especial o vasto campo do Design, são cruciais para a comunicação de ideias complexas e devem ser considerados de forma mais proativa. Conexões entre arte, cultura e ciência podem auxiliar em inovações de tal comunicação, com impactos significativos.

Um dos campos mais férteis para essa inovação são realidades mediadas por tecnologia, como a Realidade Virtual. Essa mídia, apesar de já explorada desde meados do século XX, com experimentos tal qual o *Sensorama* de Morton Heilig (anos 50) e a “Espada de Dâmocles” de Ivan Sutherland (1968) desenvolveram-se muito nas décadas seguintes, porém seu progresso foi dificultado por limitações tecnológicas (SPITZ, 2021, p.63). O panorama passou a mudar bastante a partir de 2016 com o lançamento de equipamentos populares como o *Oculus Rift*, permitindo uma aceitação maior pelo público em geral e maior acessibilidade para experimentações científicas e artísticas.

O aprendizado, como diz Freire, vem da apreensão da realidade e transformação da realidade subjetiva do aluno (FREIRE, 2005, p.68). Nossa realidade é construída de acordo com nossos afetos e sentidos. Deste modo, ferramentas capazes de alterar esses afetos e sentidos terão, naturalmente, o potencial de transformar essa construção.

Experiências imersivas educacionais em Realidade Virtual podem ser classificadas de diversas maneiras. Utilizou-se para a presente pesquisa uma adaptação da taxonomia sugerida por Kim, Rhiu e Yun (2020), bem como taxonomias educacionais sugeridas por Akdeniz (2016) (figuras 3.1, 3.2 e 3.4) como arcabouço para avaliação e comparação. Tais taxonomias representam critérios de design para a IHC com RV, como tipos de tarefas, ambiente, aplicação, dispositivos e formas de avaliação do experimento e dos usuários,

além de representar as estratégias de design instrucional.

A presente pesquisa fez uso de uma metodologia original de revisão semi-sistemática da literatura sobre RV. Fez-se uso de métodos de pesquisa mistos sequenciais, sempre com o intuito de minimizar potenciais vieses na seleção. Selecionou-se o IEEE Xplore como mecanismo de busca, devido a suas capacidades de filtragem e exportação. Extraíu-se um *corpus* de 1839 trabalhos inicialmente. A primeira análise dos resultados utilizou os títulos, resumos, palavras-chave e autores, para, utilizando técnicas de ciências de dados, classificar os trabalhos em 10 agrupamentos hierárquicos. Esses agrupamentos apresentam características próprias, que podem ser representadas, por exemplo, por nuvens de palavras (figura 4.10). Em seguida, os títulos e resumos de uma amostragem de 10 obras de cada agrupamento foram analisados quanto à aderência à dois critérios objetivos de seleção¹. A partir deste resultado, manteve-se apenas os 4 agrupamentos aparentemente mais relevantes, um total de 312 trabalhos. Todos os títulos e resumos foram examinados, adicionando mais um critério de seleção², resultando em uma nova seleção com 69 obras. Seguidamente, a íntegra de todos estes trabalhos foi avaliada, para verificar de forma mais precisa a adesão aos critérios, resultando em 28 trabalhos descartados. Os 41 restantes foram, finalmente, avaliados segundo sete critérios do design da experiência. Nove trabalhos foram selecionados para análise final, detalhados no capítulo 5. Adicionalmente, foi feito um levantamento de trabalhos relacionados dos mesmos autores destes últimos analisados.

Propomos que essa é uma metodologia sistemática replicável de seleção de trabalhos. Entretanto, é possível que trabalhos extremamente relevantes para a presente pesquisa possam ter sido descartados ao longo desse processo. Seria positivo rever não só alguns dos trabalhos oriundos do IEEE Xplore, mas também de outros mecanismos de busca, bem como ampliar o *snowballing* a partir dos trabalhos selecionados, o que poderia ser campo fértil para ampliar a presente pesquisa.

A seleção final de trabalhos reflete uma gama diversa de assuntos e abordagens educativas.

T1 *Explorando efeitos da interatividade no aprendizado com contação interativa de histórias em realidade virtual imersiva* (ZHANG; BOWMAN; JONES, 2019b) coloca o usuário da EIRV dentro de um leucócito, examinando o efeito do nível de interatividade no aprendizado de imunologia. Segundo os autores, não existem diretrizes claras para o design de EIRVs para aprendizado, e eles propõem que designers desse tipo de experiência devem utilizar

¹Apresentar uma EIRV e reportar resultados empíricos com participantes.

²Educar ou explicar sobre informações complexas ou científicas.

interatividade e animações para aumentar o engajamento, mas não em todo tipo de ação ou visualização, e sim, principalmente, para ações ou visualizações ligadas aos conceitos-chave do aprendizado.

T2 *Experimento corporificado de levitação em microgravidade em um ambiente simulado em realidade virtual para o aprendizado de ciência* (TAMMADON; STIEFS, 2017) relata a experiência de uma instalação em que estudantes escolares experimentavam uma simulação com o intuito de ensinar sobre a física da microgravidade. A EIRV explora a oportunidade de ensino por conta do “conflito cognitivo” entre as expectativas dos estudantes e a experiência direta.

T3 *iProgVR: Design de um ambiente de Realidade Virtual para aprimorar o aprendizado introdutório de programação* (WEE; YAP; LIM, 2022) utiliza uma EIRV para ensinar conceitos abstratos e entendimentos equivocados comuns em programação de computadores. O design da experiência procurou utilizar a interatividade para estimular a estruturação do conhecimento, de forma construtivista, e representou conceitos abstratos de maneira mais tangível (por exemplo, variáveis como gavetas e matrizes como armários).

T4 *Educação STEM corporificada com agência: Efeitos de RV 3D comparada a PCs com 2D* (JOHNSON-GLENBERG et al., 2020) comparou uma EIRV com uma experiência em 2D para demonstrar processos biológicos de seleção natural. Houveram indicações de efeitos significativos da corporificação (metáforas de interação gestuais ou de movimento), uma indicação que designers educacionais devem procurar usar estratégias de corporificação em experiências similares.

T5 *Cinemática de movimentação em realidade virtual aumenta eficiência do aprendizado* (NERSESIAN; VINNIKOV; LEE, 2021) amplia a (segundo os autores) limitada pesquisa quanto ao aprendizado em EIRVs, examinando o efeito de mecânicas de movimentação no aprendizado. Os autores propõem que interações utilizando movimentação corporal natural podem reforçar o aprendizado.

T6 *Logibot: Investigando engajamento e desenvolvimento de pensamento computacional através de realidade virtual* (SIMS et al., 2021) compara um aplicativo de ensino de programação em 2D com um similar em RV. Seus achados, entretanto, indicam que houve maior engajamento com o aplicativo 2D, o que indica que existe necessidade de muito cuidado no design de aplicações educacionais em RV. Espera-se que a presente pesquisa seja uma maneira de ajudar a enriquecer essas diretrizes.

T7 *VERITAS: Mapeamento mental em realidade virtual* (SIMS; KARNIK, 2021) permite aos usuários construir mapas mentais em 3D, explorando

conceitos aprendidos de forma ativa, investigativa e reflexiva.

T8 *QiaoLe: Acessando instrumentos musicais tradicionais chineses em RV* (ZHANG; BRYAN-KINNS, 2022) permitiu aos usuários experimentarem instrumentos tradicionais chineses em um ambiente virtual, promovendo a apreciação de patrimônio cultural intangível de forma ímpar, diferenciada de eventos culturais ou museus. Níveis de interação variados, entretanto, tiveram um efeito apenas na memorização de datas dos instrumentos.

Finalmente, em **T9** *Promovendo a tomada de decisão ética em realidade virtual* (KANG et al., 2019) os autores apresentam um experimento sobre ética simulando o “dilema do bonde” em que o participante pode experimentar a situação a partir de diferentes pontos de vista (condutor ou vítima). Como foi apenas um estudo-piloto, apresenta apenas conclusões preliminares, mas que sugerem diferentes níveis de empatia de acordo com o papel do usuário. A EIRV é um bom exemplo de uma situação em que RV pode ser utilizada em situações que não seriam factíveis no mundo “real”.

Ao analisarmos as nove experiências descritas acima segundo as taxonomias propostas, chegamos a algumas hipóteses quanto ao design de EIRVs educacionais, que podem servir de diretrizes norteadoras para os designers dessas experiências, bem como sugestões para futuras pesquisas, expostas a seguir.

Em primeiro lugar, EIRVs podem ser aplicadas para o ensino em diversas áreas. Pode-se avaliar experiências educando sobre diversos assuntos heterogêneos, e apesar de uma porção significativa (33%) dos trabalhos selecionados lidarem com ciência da computação, esses trataram de tópicos bastante diferentes.

O engajamento gerado por EIRVs com relativa facilidade não se traduz necessariamente em ganhos educacionais. Tais ganhos deverão ser maiores quando estratégias educacionais são encaradas como prioridade. Por exemplo, interações, visualizações e animações devem ser priorizadas quando tiverem maior importância para o assunto que está sendo ensinado. Deve-se, até mesmo, considerar diminuir interatividade ou complexidade (carga cognitiva) em outras situações, maximizando assim o aprendizado. Desta forma, é possível otimizar o trabalho dos designers das EIRVs educacionais.

Muitas vezes, o foco de designers na interatividade e imersão acaba deixando de lado a *imaginação* nas experiências. Como vimos na seção 3.4, deve-se buscar um equilíbrio entre experiências, informações, e o espaço para a imaginação e construção no design de EIRVs. Possivelmente conectado à essa questão, o fato de que atividades criativas foram pouco exploradas nos trabalhos analisados, nem apareceram frequentemente em análises de outras

obras tangenciais. Sugerimos que uma grande inspiração para esse tipo de experiência com criatividade pode advir do estudo de experiências em RV mais voltadas ao artístico, não só ao educativo³.

Ainda no que tange ao campo da imaginação, percebemos que aparentemente muitas vezes as experiências de RV educativas procuram simular o “mundo real” e descartam alternativas que são possíveis *apenas* em RV. Designers de EIRVs educativas podem e devem explorar essas possibilidades de manipulação do espaço ou tempo⁴

Sugerimos avaliar maior participação de colaboratividade com outros alunos (A6), bem como com instrutores (F2). O papel da colaboração no ensino em grupo e de professores ou instrutores são marcantes no campo da educação, e não devem ser descartados apenas pela potencial dificuldade de implementar essas dinâmicas colaborativas dentro de EIRVs.

Ainda no campo da educação tradicional, é inegável a importância de criar resumos e anotações (A2/ F10), porém isso parece ser negligenciado dentro de EIRVs. Pode ser bastante vantajoso, apesar dos desafios, explorar formas de oferecer esse tipo de atividade dentro de RV para ajudar projetos educativos.

Não vimos utilização de formas alternativas de saída (*feedback*), nem mesmo háptica. Sugerimos que pode ser uma área rica para exploração em pesquisas quanto ao resultado no ensino. Recomendamos que interfaces utilizadas em jogos eletrônicos, em especial jogos com *role-play* que oferecem diversos textos e imagens com informações adicionais, bem como permitem ao jogadores fazer certas marcações, podem servir de inspiração para tais implementações.

Verificar a efetividade de se utilizar controles com rastreamento (DE9) comparado com outras estratégias (como rastreamento de mãos, por exemplo) pode indicar importantes aspectos do design e IHC de experiências educativas em RV.

Utilizar-se de mais métodos de avaliação objetiva e quantitativa para mensurar resultados pode ser bastante benéfico. Alguns exemplos são rastreamento de olhos e monitoramento de sinais vitais, como batimentos cardíacos.

³Por exemplo, podemos citar o trabalho *Placeholder* de Brenda Laurel (LAUREL; STRICKLAND; TOW, 1994) e a instalação visual “Goliath”, sobre a experiência de um homem com esquizofrenia, disponível em <<https://goliathvr.io>>, acessado 20 de fev. de 2023.

⁴Por exemplo, existem estudos de navegação em espaços não-euclidianos, que não podem ser feitas na realidade, mas podem ser experimentadas em RV, com conclusões surpreendentes quanto ao funcionamento da mente (WARREN, 2019). Um vídeo interessante sobre espaços não-euclidianos está disponível em <<https://youtu.be/kEB11PQ9Eo8>>, acessado 20 de fev. de 2023.

Avaliar a retenção do conhecimento a longo prazo nos parece essencial para determinar o real sucesso de uma experiência educativa. Recomenda-se que, apesar de dificuldades logísticas, seja de praxe fazer este tipo de avaliação (Av13) quando planejando um experimento educacional. No mais, avaliações feitas *durante* a experiência (Av11) não foram muito utilizadas, mas nos parece que pode ser uma ferramenta positiva de mensuração. Apesar da potencial quebra de imersão, há sinais de que essa prática não irá afetar o engajamento.

Provemos, nas figuras 6.1, 6.2 e 6.3 um mapeamento refletindo elementos de UX e taxonomias educacionais que *não* apareceram na classificação dos trabalhos avaliados. Sugerimos que esse mapeamento pode ser usado em pesquisas subsequentes para indicar algumas questões pouco exploradas.

Faz-se ainda importante ressaltar que o presente estudo não tem a pretensão de ser exaustivo. É bem plausível que haja diversos trabalhos que já preenchem diversas dessas lacunas, mas que não foram selecionados pela metodologia de amostragem que serve de base para nossas conclusões e nem pela busca de trabalhos correlacionados dos mesmos autores. Não obstante, a presente pesquisa reflete o atual estado da arte da tecnologia de RV, desde 2016 conforme explicado na seção 4.1. Novas tecnologias e mudanças na indústria podem modificar este panorama e trazer mudanças de paradigmas com potencial impacto em trabalhos educativos como os avaliados. Por exemplo, novos equipamentos com capacidades estendidas de Realidade Aumentada como o Meta Quest Pro, lançado no final de 2022⁵ podem estimular direções diferentes para novas experiências.

Em conclusão, a presente pesquisa demonstrou uma revisão semi-sistemática de literatura de trabalhos educativos de experiências imersivas em realidade virtual, com participação de usuários e resultados de aprendizado. Apresentamos uma metodologia para a seleção de trabalhos, bem como um arcabouço para analisar e comparar experiências em RV. A partir de uma lista inicial de mais de 1800 obras, selecionamos 9 e as analisamos e categorizamos. A partir dessa análise, apresentamos hipóteses, bem como potenciais rumos para novas pesquisas.

Esperamos que este trabalho possa vir a contribuir de forma significativa para o design de experiências educativas em RV, em especial para a comunicação científica e o entendimento público da ciência, utilizando essa mídia tão rica em possibilidades a serem exploradas, que é a Realidade Virtual.

⁵O último headset da Meta (que adquiriu a empresa Oculus) tem funcionalidades como realidade misturada com câmeras coloridas de alta-resolução, foco em colaboração, melhor rastreamento dos controles, mapeamento de expressões e rastreamento de olhos (*eye-tracking*) entre outras características. Disponível em <<https://www.meta.com/quest/quest-pro/>>, acessado 5 de fev. de 2023.

Referências bibliográficas

AKDENIZ, C. Instructional strategies. In: **Instructional process and concepts in theory and practice**. [S.l.]: Springer, 2016. p. 57–105.

BAILENSON, J. N. et al. The use of immersive virtual reality in the learning sciences: Digital transformations of teachers, students, and social context. **The Journal of the Learning Sciences**, Taylor & Francis, v. 17, n. 1, p. 102–141, 2008.

BARBER, B. **Social Studies of Science**. Transaction publishers, 1990. ISBN 9781412834544. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YX_EEJZ3TJEC>.

BLASCOVICH, J. et al. Immersive virtual environment technology as a methodological tool for social psychology. **Psychological inquiry**, Taylor & Francis, v. 13, n. 2, p. 103–124, 2002.

CAMARGO, A. M. d. et al. Comunicação científica na sociedade em rede: a representação da ciência nos ambientes da nova mídia. Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, 2012.

COELHO, L. A. L. The Impact of the Ever Presence of the Screen on Reality and the Image. **The 13th annual convention of the media ecology association**, Manhattan College, New York, 2012.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa-: Métodos qualitativo, quantitativo e misto**. 2. ed. [S.l.]: Porto Alegre, 2007.

CRESWELL, J. W. **Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches**. [S.l.]: Sage, 2013.

DAVARI, S. et al. Save the space elevator: An escape room scenario involving passive haptics in mixed reality. In: IEEE. **2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. [S.l.], 2019. p. 1405–1406.

DEMŠAR, J. et al. Orange: From experimental machine learning to interactive data mining. In: SPRINGER. **European conference on principles of data mining and knowledge discovery**. [S.l.], 2004. p. 537–539.

FISCHER, E. P. The public misunderstanding of science. **Interdisciplinary Science Reviews**, Taylor & Francis, v. 21, n. 2, p. 110–116, 1996.

FISCHHOFF, B. The sciences of science communication. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, National Acad Sciences, v. 110, n. Supplement 3, p. 14033–14039, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1073/pnas.1213273110>>.

FREIRE, P. Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa. São Paulo: Paz e terra, 1996. **Coleção leitura**, p. 21, 2005.

GAUCHAT, G. Politicization of science in the public sphere: A study of public trust in the united states, 1974 to 2010. **American sociological review**, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 77, n. 2, p. 167–187, 2012. Disponível em: <<https://www.asanet.org/sites/default/files/savvy/images/journals/docs/pdf/asr/Apr12ASRFeature.pdf>>.

GUSENBAUER, M.; HADDAWAY, N. R. Which academic search systems are suitable for systematic reviews or meta-analyses? evaluating retrieval qualities of google scholar, pubmed, and 26 other resources. **Research Synthesis Methods**, v. 11, n. 2, p. 181–217, 2020. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jrsm.1378>>.

HOFFMAN, D. **Do we see reality as it is?** 2015. TED [Accessado: 10/06/2021]. Disponível em: <https://www.ted.com/talks/donald_hoffman_do_we_see_reality_as_it_is>.

HOFFMAN, D. D.; SINGH, M.; PRAKASH, C. The Interface Theory of Perception. **Psychonomic Bulletin Review**, v. 22, n. 6, p. 1480–1506, 2015. ISSN 1531-5320. Disponível em: <<https://doi.org/10.3758/s13423-015-0890-8>>.

JOHNSON-GLENBERG, M. C. Immersive vr and education: Embodied design principles that include gesture and hand controls. **Frontiers in Robotics and AI**, Frontiers, p. 81, 2018.

JOHNSON-GLENBERG, M. C.; BARTOLOMEA, H.; KALINA, E. Platform is not destiny: Embodied learning effects comparing 2d desktop to 3d virtual reality stem experiences. **Journal of Computer Assisted Learning**, Wiley Online Library, v. 37, n. 5, p. 1263–1284, 2021.

JOHNSON-GLENBERG, M. C. et al. Embodied agentic stem education: Effects of 3d vr compared to 2d pc. In: **2020 6th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 24–30.

KANG, S. et al. Advancing ethical decision making in virtual reality. In: **2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1008–1009.

KIM, Y. M.; RHIU, I.; YUN, M. H. A systematic review of a virtual reality system from the perspective of user experience. **International Journal of Human-Computer Interaction**, Taylor & Francis, v. 36, n. 10, p. 893–910, 2020.

KRUM, D. M.; KANG, S.-H.; PHAN, T. Influences on the elicitation of interpersonal space with virtual humans. In: IEEE. **2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)**. [S.l.], 2018. p. 223–9.

LAUREL, B.; STRICKLAND, R.; TOW, R. Placeholder: Landscape and narrative in virtual environments. **Acm Siggraph Computer Graphics**, ACM New York, NY, USA, v. 28, n. 2, p. 118–126, 1994.

LEE, K. M. Presence, explicated. **Communication theory**, Oxford University Press, v. 14, n. 1, p. 27–50, 2004.

- LESAFFRE, M.; LEMAN, M. Integrative research in art and science: a framework for proactive humanities. **Critical Arts**, Taylor & Francis, v. 34, n. 5, p. 39–54, 2020.
- LEWANDOWSKY, S.; OBERAUER, K. Motivated Rejection of Science. **Current Directions in Psychological Science**, v. 25, n. 4, p. 217–222, 2016. ISSN 14678721.
- LIM, W. N. et al. A systematic review of weight perception in virtual reality: Techniques, challenges, and road ahead. **IEEE Access**, IEEE, v. 9, p. 163253–163283, 2021.
- MACINTYRE, B. et al. Three angry men: An augmented-reality experiment in point-of-view drama. In: **Proc. International Conference on Technologies for Interactive Digital Storytelling and Entertainment (TIDSE 2003)**. [S.l.: s.n.], 2003. p. 230–236.
- MAHESH, B. Machine learning algorithms-a review. **International Journal of Science and Research (IJSR)**. [Internet], v. 9, p. 381–386, 2020.
- MANN, S. Mediated reality with implementations for everyday life. **Presence Connect**, MIT Press Journal Presence: teleoperators and virtual environments, v. 1, 2002.
- MANN, S. et al. All reality: Virtual, augmented, mixed (x), mediated (x, y), and multimediated reality. **arXiv preprint arXiv:1804.08386**, 2018.
- MEN, L.; BRYAN-KINNS, N. Lemo: supporting collaborative music making in virtual reality. In: IEEE. **2018 IEEE 4th VR workshop on sonic interactions for virtual environments (SIVE)**. [S.l.], 2018. p. 1–6.
- MEN, L.; BRYAN-KINNS, N. Lemo: exploring virtual space for collaborative creativity. In: **Proceedings of the 2019 on Creativity and Cognition**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 71–82.
- MEN, L. et al. The impact of transitions on user experience in virtual reality. In: IEEE. **2017 IEEE virtual reality (VR)**. [S.l.], 2017. p. 285–286.
- MUHANNA, M. A. Virtual reality and the cave: Taxonomy, interaction challenges and research directions. **Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences**, Elsevier, v. 27, n. 3, p. 344–361, 2015.
- MULDERS, M.; BUCHNER, J.; KERRES, M. A framework for the use of immersive virtual reality in learning environments. **International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)**, International Journal of Emerging Technology in Learning, v. 15, n. 24, p. 208–224, 2020.
- NERSESIAN, E.; VINNIKOV, M.; LEE, M. J. Travel kinematics in virtual reality increases learning efficiency. In: **2021 IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing (VL/HCC)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–5.
- NERSESIAN, E. et al. Middle school students learn binary counting using virtual reality. In: IEEE. **2020 IEEE Integrated STEM Education Conference (ISEC)**. [S.l.], 2020. p. 1–8.

- NERSESIAN, E. W. **Impact of User Traversal on Performance of STEM Learners in Immersive Virtual Environments**. Tese (Doutorado) — New Jersey Institute of Technology, 2021.
- NEWMAN, N. et al. Reuters institute digital news report 2021. **Reuters Institute for the Study of Journalism**, 2021.
- PÜTTEN, A. M. Von der et al. “it doesn’t matter what you are!” explaining social effects of agents and avatars. **Computers in Human Behavior**, Elsevier Science, 2010.
- RATCLIFFE, J. et al. Extended reality (xr) remote research: a survey of drawbacks and opportunities. In: **Proceedings of the 2021 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–13.
- SCHREPP, M.; THOMASCHEWSKI, J.; HINDERKS, A. Construction of a benchmark for the user experience questionnaire (ueq). *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence . . .*, 2017.
- SIMS, R. et al. Step into my mind palace: Exploration of a collaborative pedagogy tool in vr. In: IEEE. **2022 8th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)**. [S.l.], 2022. p. 1–8.
- SIMS, R.; KARNIK, A. Veritas: Mind-mapping in virtual reality. In: **2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–8.
- SIMS, R. et al. Logibot: Investigating engagement and development of computational thinking through virtual reality. In: **2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 1–5.
- SLATER, M.; WILBUR, S. A framework for immersive virtual environments (five): Speculations on the role of presence in virtual environments. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, MIT Press One Rogers Street, Cambridge, MA 02142-1209, USA journals-info . . . , v. 6, n. 6, p. 603–616, 1997.
- SNYDER, H. Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. **Journal of business research**, Elsevier, v. 104, p. 333–339, 2019.
- SOGABE, M. Olhar, tecnologia e arte. **DAT Journal**, v. 4, n. 3, p. 151–168, 2019.
- SPITZ, R. O virtual como meio de transformação crítica do real. **DAT Journal**, v. 6, n. 1, p. 60–77, 2021.
- STEUER, J. Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. **Journal of communication**, Wiley Online Library, v. 42, n. 4, p. 73–93, 1992.
- STRATTON, G. M. Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image. **Psychological review**, The Macmillan Company, v. 3, n. 6, p. 611, 1896.

TAMADDON, K.; STIEFS, D. Embodied experiment of levitation in microgravity in a simulated virtual reality environment for science learning. In: **2017 IEEE Virtual Reality Workshop on K-12 Embodied Learning through Virtual Augmented Reality (KELVAR)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–5.

TUROLO, A. Affordances na interação online de aprendizes de inglês na modalidade educação a distância. **Ilha do Desterro**, SciELO Brasil, v. 73, p. 183–203, 2020.

WALTER, B. et al. The public understanding of science. **London, Royal Society**, 1985.

WARREN, W. H. Non-euclidean navigation. **Journal of Experimental Biology**, The Company of Biologists Ltd, v. 222, n. Suppl_1, p. jeb187971, 2019.

WEE, C.; YAP, K. M. Design and analysis of a virtual reality game to address issues in introductory programming learning. In: SPRINGER. **Intelligent Technologies for Interactive Entertainment: 12th EAI International Conference, INTE-TAIN 2020, Virtual Event, December 12-14, 2020, Proceedings**. [S.l.], 2021. p. 243–254.

WEE, C.; YAP, K. M. Gender diversity in computing and immersive games for computer programming education: a review. **International Journal of Advanced Computer Science and Applications**, Science and Information (SAI) Organization Limited, v. 12, n. 5, 2021.

WEE, C.; YAP, K. M.; LIM, W. N. iprogrv: Design of a virtual reality environment to improve introductory programming learning. **IEEE Access**, v. 10, p. 100054–100078, 2022.

WITTGENSTEIN, L. Tractatus logico-philosophicus ludwig wittgenstein. **J. Hist. Ideas**, v. 59, p. 1–28, 1922.

YEOM, D.; CHOI, J.-H.; KANG, S.-H. Investigation of the physiological differences in the immersive virtual reality environment and real indoor environment: Focused on skin temperature and thermal sensation. **Building and Environment**, Elsevier, v. 154, p. 44–54, 2019.

ZHANG, J.; BRYAN-KINNS, N. Qiaole: Accessing traditional chinese musical instruments in vr. In: **2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 357–362.

ZHANG, L. **Investigating Interactivity and Storytelling in Immersive Virtual Reality for Science Education**. Tese (Doutorado) — Virginia Tech, 2022.

ZHANG, L.; BOWMAN, D. A. Designing immersive virtual reality stories with rich characters and high interactivity to promote learning of complex immunology concepts. In: IEEE. **2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)**. [S.l.], 2021. p. 326–329.

ZHANG, L.; BOWMAN, D. A. Exploring effect of level of storytelling richness on science learning in interactive and immersive virtual reality. In: **ACM International Conference on Interactive Media Experiences**. [S.l.: s.n.], 2022. p. 19–32.

ZHANG, L.; BOWMAN, D. A.; JONES, C. N. Enabling immunology learning in virtual reality through storytelling and interactivity. In: SPRINGER. **Virtual, Augmented and Mixed Reality. Applications and Case Studies: 11th International Conference, VAMR 2019, Held as Part of the 21st HCI International Conference, HCII 2019, Orlando, FL, USA, July 26–31, 2019, Proceedings, Part II 21**. [S.l.], 2019. p. 410–425.

ZHANG, L.; BOWMAN, D. A.; JONES, C. N. Exploring effects of interactivity on learning with interactive storytelling in immersive virtual reality. In: **2019 11th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games)**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–8.

ZHANG, L. et al. Fantastic voyage 2021: Using interactive vr storytelling to explain targeted covid-19 vaccine delivery to antigen-presenting cells. In: IEEE. **2021 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops (VRW)**. [S.l.], 2021. p. 695–696.

ZHANG, L.; ONEY, S. Flowmatic: An immersive authoring tool for creating interactive scenes in virtual reality. In: **Proceedings of the 33rd Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology**. [S.l.: s.n.], 2020. p. 342–353.

ZIZEK, S. **Looking Awry: An Introduction to Jacques Lacan Through Popular Culture (Cambridge, Mass)**. [S.l.]: MIT Press, 1991.