

# A Systematic Mapping Study on Low-Cost Immersive Virtual Reality for Microbiology

Eduardo Filgueiras Damasceno<sup>1</sup>, Larissa Fernandes<sup>2</sup>, Armando Paulo da Silva<sup>3</sup>, José Barbosa Días Jr.<sup>4</sup>

**Abstract**— Educators are increasingly recognizing the advantages and benefits of Virtual Reality to broaden their teaching experiences in biology. Besides giving them another way to visualize learning objects, transforming their students from spectators to actors in the learning process. However, little has been discussed about the use of these low-cost immersive environments. Thus, the reviewed publications were retrieved by extracting keywords from documents indexed in four digital scientific libraries, which were then systematically filtered using exclusion, inclusion, semi-automated methods. This paper addresses three key points: which technologies are used in microbiology teaching, which of these are in the Virtual Reality technology domain, and which are implemented with low-cost resources. The mapping was performed between application domains and learning content and between design elements and learning content. We noted that most of the reviewed works have an evaluation of the usability of the applications, not focusing on the educational feasibility or the learning outcomes that can be obtained by them. We observed that the publications show gaps in the actual use and our review indicates unexplored areas, both at the level of the application project centered on the user and in the requirements of educational viability, thus being able to motivate future work in the field.

**Index Terms**— Virtual Environment, Microbiology, Teaching, Systematic Reviews.

## I. INTRODUÇÃO

Estamos no meio de crescentes avanços tecnológicos, onde a cada década se evolui mais na era digital. Os impulsos tecnológicos transformaram-se em todos os campos e vão além da imaginação das gerações antecedentes. Assim são as aplicações educacionais inovadoras, indo além do campo de expectativas de aprendizado e pairando na objetividade de autoria e representação do conhecimento pelo aluno. Com efeito, a tecnologia voltada para a área da biologia mudou o ensino e a aprendizagem tradicional, sensibilizando os docentes em todos os níveis educacionais [1].

Neste cenário, uma gama de possibilidades de estudos sobre as propriedades dos óculos de Realidade Virtual (RV), principalmente referentes a imersão e a interação, que podem ser exploradas no desenvolvimento de novas aplicações educacionais [2].

Destarte, os aplicativos e ambientes de Realidade Virtual Imersiva (RVI) suportam a tecnologia digital de Realidade Virtual (RV) e proporciona ao usuário a possibilidade de “estar” em quaisquer lugares sem a necessidade de sair do seu local atual [3].

Assim, esta emerge como uma ferramenta alternativa ao ensino tradicional, proporcionando uma aprendizagem social e experimental [4], pois promovem um alto nível de realismo nas simulações e dramatizações que antes não eram presentes em um ambiente de ensino [5].

Uma outra vantagem dos ambientes e aplicativos de RVI são que eles proporcionam aos alunos, a capacidade de desenvolver algumas habilidades especiais tais como: a exploração, a simulação e a combinação de conceitos, que são fatores importantes para a autonomia do aprendizado [6]. Além disso, a interação da RV redefine conceitos abstratos, pois ocorre a conversão de conceitos subjetivos em conceitos concretos por meio de uma aprendizagem mais interessante, ativa e interativa [7].

## II. ENSINO TRADICIONAL DE MICROBIOLOGIA

O conteúdo de microbiologia trata de modo aprofundado as características dos seres microscópicos. Os alunos apresentam algumas dificuldades, por retratar a ciência microscópica, que são conteúdos muito abstratos, por isso é relevante o docente incluir o uso de ações metodológicas para a melhoria da aprendizagem dessa disciplina pelos alunos [8], [9].

O ensino tradicional junto à exclusividade do livro e/ou livro didático favorecem a transmissão-recepção de informações, tendo ênfase na memorização. Vemos um problema marcante no ensino tradicional de microbiologia principalmente por tratar do estudo de organismo invisíveis ao olho nu, o que é um desafio para compreensão dos alunos [10], [11].

Enfim, existem algumas estratégias de metodologias ativas que já estão sendo utilizada no ensino de microbiologia [12], como aulas experimentais, jogos didáticos, desenvolvimento de maquete e paródias e uso de recurso audiovisual.

No ensino experimental é possível desenvolver atividades práticas de microbiologia, diminuindo a abstração [9], [13]. Os jogos didáticos promovem o ensino de microbiologia e são usados para web-Quest, atividades sobre saneamento, entre outras [14], [15].

A maquete é material que promove a criatividade dos alunos, em especial, para o estudo da morfologia dos microrganismos [10], [16]. A produção de paródias para promover o entendimento dos microrganismos por meio de analogias e rimas têm destaque nos aspectos morfológicos, transmissão de doenças, entre outros. [17]. O recurso de audiovisual, o qual auxilia na visualização da microbiota,

<sup>1</sup>Eduardo Filgueiras Damasceno, Federal University of Technology – Parana – Brazil, orcid: 0000-0002-6246-1246

<sup>2</sup>Larissa Fernandes., Federal University of Technology – Parana – Brazil, orcid: 0000-0003-3257-6381

<sup>3</sup>Armando Paulo da Silva, Federal University of Technology – Parana – Brazil, orcid: 0000-0001-8186-051X

<sup>4</sup>José Barbosa Dias Jr, Federal Institution of Education, Science and Technology – Parana - Brazil orcid: 0000-0003-4465-4316

além de ser mais atraente para os alunos [8], [18].

Os aplicativos em 3D possibilitam que o aluno desenvolva habilidades visuais únicas em microbiologia, objetivando conceitos abstratos, diminuindo a abstração dos alunos com relação aos eventos microscópicos e promovendo uma melhor interpretação dos conceitos.

Em suma, estudos sugerem que estes aplicativos RVI maximizam e enriquecem aprendizagem de conceitos microscópico que são abstratos, pois é um ambiente com modelagem 3D capaz de representar conceitos e fenômenos, de modo mais centrado e simplificado, o que transporta o aluno para um espaço particular, no qual os conceitos intangíveis se tornam conceitos perceptíveis [19]–[22].

### III. ENSINO IMERSIVO COM REALIDADE VIRTUAL

A RV no ensino imersivo é uma ferramenta tecnológica que tem a habilidade de modificar os tratamentos pedagógicos tradicionais para o conhecimento dos alunos. Seu uso é um recurso novo e de fácil acesso, proporcionando informações e desenvolvendo habilidades.

A RV no ensino imersivo, é composto por quatro componentes fundamentais [23]; i) Universo virtual: o ambiente é expresso por um programa de simulação por computador, programado para imitar um lugar real; ii) Imersão: a sensação física e mental de estar no espaço virtual. Isso normalmente é obtido na utilização de telas arquitetadas na cabeça ou ambientes similar a salas cercadas por imagens produzidas por computador; iii) Feedback sensorial: Elemento de RV Imersiva que propicia o feedback sensorial direto ao participante por meio de seu posicionamento físico, conhecido como rastreamento; e, iv) Interatividade: onde o conjunto responde e reage ao comportamento pessoal. Com isso tem-se a prova da eficácia na transmissão do conteúdo, como o caso de uma exposição de museu [24].

Esta tecnologia pode ser usada na interação social, sendo exercitada por um comportamento e, em circunstância melhorando o local de aprendizagem [25].

Pesquisas mostram que a imersão disponibilizada pela RV, apresenta efeito positivo no conhecido adquirido e no contentamento do aluno [26]. A RV pode auxiliar os alunos a alcançar informações visuais e sensoriais [27]. Essa tecnologia é ideal na realização de exploração e treinamento no ensino. Com isso, provou-se que os participantes ficaram mais focados na atividade desempenhada de uma excelente prática de imersão [7].

### IV. MÉTODO DE PESQUISA

Um mapeamento sistemático da literatura, assim como outros tipos de estudo experimental, tem como objetivo investigar de forma ampla um determinado tema, cobrindo os diversos pontos ou questionamentos propostos pelo pesquisador com objetivo de lançar luz sobre o objeto de estudo[28].

Ademais é um processo relevante para identificar as lacunas de pesquisa, tendências para futuras investigações e principalmente para situar o leitor dentro de um espaço-

tempo de produção científica [36].

Deste modo o método aplicado nesta pesquisa foi proposto por Kitchenham & Charters [28] e está dividido em 3 etapas: Planejamento, Condução e Extração de dados. Todo o planejamento foi documentado no protocolo de definições das questões norteadoras da pesquisa e critérios de exclusão e inclusão de trabalhos.

Com efeito, destacam-se as motivações deste trabalho, que geraram as questões de pesquisa. Sendo que identificar quais tecnologias digitais de educação são utilizados para otimizar o Ensino de Microbiologia é a mais abrangente e promissora motivação e associada ao fato de identificar a forma de aplicação da RV como uma dessas tecnologias educacionais para o Ensino de Microbiologia.

Assim, esta pesquisa analisou publicações científicas com o propósito de identificar os aplicativos e ambientes de RVI para o ensino de Microbiologia e categorizá-las com relação às tecnologias envolvidas, ambientes e recursos educacionais necessários para o uso em sala de aula por docentes do curso de Biologia, sendo assim, as questões de pesquisa são apresentadas na TABELA I.

TABELA I - QUESTÕES DE PESQUISA

Id	Questão de Pesquisa
$Q_0$	<i>Quais as Tecnologias Digitais de apoio ao Ensino de Microbiologia?</i>
$Q_1$	<i>Quais destas tecnologias possuem ou são aplicados com Realidade Virtual?</i>
$Q_2$	<i>Quais destas selecionadas são Ambientes Virtuais Imersivos?</i>
$Q_{2.1}$	<i>Quais são os tipos de estudos descritos?</i>
$Q_{2.2}$	<i>Quais destes são de baixo custo?</i>

Destarte, utilizamos como fonte de consulta os trabalhos publicados entre os anos de 2016 a 2020 nas bases de ERIC<sup>1</sup>, BASE<sup>2</sup>, DIMENSIONS<sup>3</sup>, Google Acadêmico<sup>4</sup> e SCIENCE RESEARCH<sup>5</sup>, tendo por foco apenas aqueles ligados ao campo educacional culminando nesta apresentação de resultados, por meio da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), realizada de forma semiautomatizada por meio de software de extração de informações bibliométricas VOSViewer<sup>6</sup>.

Os mecanismos de busca supracitados foram alinhados com intuito de fornecer à pesquisa uma cobertura focada nas aplicações educacionais. Assim a ERIC tem a pretensão de oferecer consistência na abordagem para revisar e selecionar fontes e itens de trabalhos direcionados na área da Educação, enquanto a BASE é um mecanismo de busca volumosos especializado em recursos acadêmicos da web. Ele é operado pela Bielefeld University Library.

Ademais, a plataforma DIMENSIONS reúne concessões, publicações, citações, métricas alternativas, ensaios clínicos, patentes, entre outros, dispendo de uma plataforma que permite aos usuários encontrar e acessar as informações mais relevantes e mais rápida. O Google Acadêmico oferece uma forma simples de pesquisar amplamente a literatura acadêmica, realizando a pesquisa dentre uma variedade de disciplinas e fontes como artigos, teses, livros e outros. A Science Research é uma plataforma que tem o foco em publicações de cunho tecnológico como meio de avanço do

<sup>1</sup> ERIC - Education Resources Information Center (<https://eric.ed.gov/>)

<sup>2</sup> BASE (Bielefeld Academic Search Engine) (<https://www.base-search.net/>)

<sup>3</sup> DIMENSIONS (<https://www.dimensions.ai/>)

<sup>4</sup> Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>)

<sup>5</sup> Science Research (<https://www.scienceresearch.com/>)

<sup>6</sup> VOSViewer (<https://www.vosviewer.com/>)

conhecimento e, também, como um recurso funcional, cotidiano, facilitador.

Após estas definições foi proposta uma cláusula de busca (*search string*) genérica no intuito de selecionar o maior número de trabalhos dentre os anos limítrofes.

Então, definiu-se os principais termos relacionados com as questões de pesquisa, conforme apresentados na TABELA II. Para este levantamento, vale destacar, que o idioma usado para busca foi o inglês. Com efeito, a estrutura da questão de pesquisa principal foi organizada conforme o protocolo PICOC (Population, Intervention, Context, Outcomes, Comparison) [28], todavia, apenas os itens Population, Intervention e Outcomes (PIO), que traduzidos para o português são População, Intervenção e Resultados, foram considerados relevantes para a pesquisa. Nesse sentido, definiu-se a seguinte estrutura para a questão de pesquisa principal, conforme apresentado na TABELA II.

TABELA II - ORGANIZAÇÃO DA CLÁUSULA DE BUSCAS

Elemento	Cláusula
População	(Education OR Teaching OR Learning) AND (Microbiology) AND (Virtual Reality OR Virtual Environment OR Virtual World)
Intervenção	Prototype OR Tool OR Methodology OR Approach OR Application OR Environment
Resultado	Evaluation OR Immersive OR Teaching OR Learning

Neste conjunto, foram usados apenas palavras em inglês por dois motivos: (1) nos testes piloto, houve um retorno inexpressivo quando se buscou a mesma estrutura por palavras traduzidas para o português; (2) algumas ferramentas impõem limites de quantidade de palavras usadas em uma cláusula de pesquisa, portanto, ampliá-las com traduções ou muito sinônimos pode não trazer resultados em busca única. Sendo assim contabilizados 725 estudos e disponibilizados no sítio <http://labvisual.cp.utfpr.edu.br/openscience/c/f11/vrbiolist.xls>

A partir de então, foram processados pelo VOSviewer [29], com o qual foi possível extrair os principais tópicos apresentados no campo *Keywords* (palavras-chave) todos os trabalhos selecionados para que fosse possível uma catalogação mais rápida, assim gerando uma visualização dos dados visto na Fig. 1.

A escolha do VosViewer como ferramenta de visualização de informação foi devido às características de mineração de dados textuais, geração de mapas e nuvem de palavras, análise bibliométrica, com este software foi possível analisar a densidade, agrupamento e relações entre os trabalhos e os pesquisadores[29].

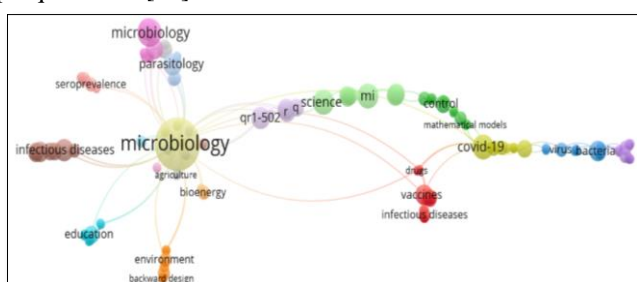


Fig. 1 – VISUALIZAÇÃO DOS KEYWORDS PELA FERRAMENTA VOSVIEWER

Nesta estratégia de busca foram selecionadas fontes e revistas

consideradas relevantes para área, além das definições de filtros: período, idioma e os critérios de exclusão de trabalhos são apresentados na TABELA III.

TABELA III - CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO E INCLUSÃO DE TRABALHOS

Id	Critério	Ação
E1	Data de publicação antes de 01/01/2016	Excluir
E2	A publicação não está disponível nos idiomas escolhidos	Excluir
E3	A publicação não foi revisada por pares, isto é, não é um artigo publicado em periódico ou evento científico antecedido por revisão. Ex.: livro, capítulo de livro, nota ou publicação técnica etc.	Excluir
E4	A publicação não é um artigo único, isto é, o resultado retornado pela ferramenta de busca é uma coleção de artigos ou outros tipos de publicações, como anais de evento ou livro.	Excluir
E5	Não há acesso a versão completa	Excluir
E6	A publicação já foi incluída por outro repositório (fonte) de pesquisa, ou seja, é duplicada.	Excluir
E7	A publicação não se baseia em uma solução de Realidade Virtual de baixo custo.	Excluir
E8	A publicação não possui qualquer critério de inclusão	Excluir
I1	A publicação contém tecnologias conhecidas que avaliam usabilidade ou experiência do usuário	Incluir
I2	A publicação descreve estudos empíricos de tecnologias ou abordagens de Ensino de Microbiologia com Realidade Virtual	Incluir
I3	A publicação discute aspectos relacionados a usabilidade ou à experiência do usuário.	Incluir

A Fig. 2 apresenta o fluxo de seleção de estudos primários no modelo PRISMA.

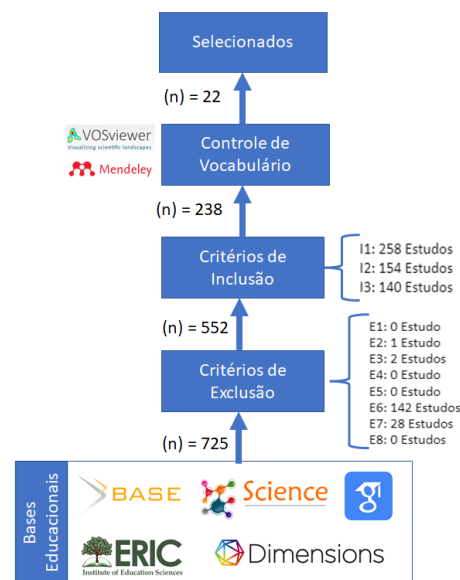


Fig. 2 – FLUXOGRAMA PRISMA[32] DE SELEÇÃO DE ESTUDOS

A execução das buscas teve o suporte computacional do software Mendeley Desktop<sup>7</sup> que é uma ferramenta que facilita a organização e catalogação de publicações científicas[33]. Com esse software, os estudos 725 foram arquivados para realização dos estudos bibliométricos apresentados na Fig 3. O processo de evidenciar os trabalhos a serem analisados passou por uma fase semiautomática combinando os dois softwares (Mendeley e VosViewer).

<sup>7</sup> <https://www.mendeley.com/>

Entretanto os estudos excluídos totalizaram-se 173 passando a etapa de inclusão 552, e dado início a verificação do controle de vocabulário pela ferramenta VosViewer.

Nela, a cada novo mapa de visualização gerado pelo é analisado se as Keywords e Abstracts apresentadas são de interesse para a pesquisa. Caso não, os trabalhos que contém estas palavras são retirados do processo e um novo mapa é gerado. Na primeira execução do controle de vocabulário foram selecionados apenas 238 estudos, destes após a quarta repetição de seleção de vocabulário para que todas as palavras apresentadas na visualização expressassem os tópicos relacionados com o tema da pesquisa, gerando assim os 22 estudos integrantes desta pesquisa.

Com efeito, foi obtido o resultado gráfico que ilustra a evolução dos temas de pesquisa totalizado um conjunto final de 22 artigos, destes 5 foram publicados em 2016, 3 foram publicados em 2017, 3 foram publicados em 2018, 5 foram publicados em 2019 e 5 foram publicados em 2020.

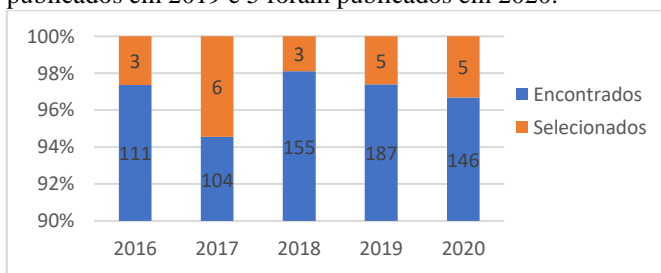


Fig. 3 - RELAÇÃO DE IMPORTÂNCIA DE PUBLICAÇÃO

## V. RESULTADOS

A partir da extração dos dados, apresenta-se na

TABELA IV a síntese das análises dos artigos, organizados de uma forma para responder às questões de pesquisa apresentadas na TABELA I anteriormente.

Nesta seção, relatamos os trabalhos que respondem a Q<sub>0</sub>, visto na FIG. 4 - TRABALHOS QUE RESPONDEM A Q<sub>0</sub> e os identificamos apenas com o numeral, ordenados por data de publicação.

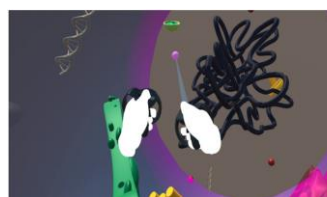
TABELA IV - TRABALHOS SELECIONADOS

Questão	Trabalhos Selecionados
Q <sub>0</sub>	#3 #13 #14 #22
Q <sub>1</sub>	#4 #5 #11 #17 #19 #20 #1 #6 #9 #12 #16
Q <sub>2</sub>	#10 #18
Q <sub>2.1</sub>	#7 #8 #15 #21
Q <sub>2.2</sub>	#2 #14 #15

Sendo assim, no trabalho de Makransky; Thisgaard; Gadegaard (2016) [#3], visto na parte (a), neste há aplicação do ambiente virtual que foi direcionada a uma atividade de aprendizagem relevante, apoiada no ensino de microbiologia.



a) Makransky; Thisgaard; Gadegaard (2016) [#3],



b) Wang, et al, (2019) [#13]



c) Makransky, et al, (2019) [#14]



d) Tu, Xin e Zhang (2020) [#22]

FIG. 4 - TRABALHOS QUE RESPONDEM A Q<sub>0</sub>

É possível observar que o estudo se torna relevante pois, 95 alunos se utilizaram de um material de microbiologia de realidade virtual, no qual, ao final do estudo, viu-se que ocorreu um aumento expressivo na aprendizagem e na mobilização dos estudantes, devido ao uso do laboratório de realidade virtual. Na parte (b), o trabalho de Wang, et al, (2019) [#13], evidencia que designers e especialistas da área de microbiologia realizaram um projeto de pesquisa em que criaram um ambiente em 3D de realidade virtual para melhorar a compreensão dos alunos com relação aos aspectos abstratos do conteúdo de microbiologia. A relevância do estudo se dá pela eficácia da compreensão das organelas e microorganismos representados em 3D. Em Makransky, et al, (2019) [#14], visto na parte (c) da Fig. 5 foi criado um laboratório de realidade virtual de custo acessível para os alunos do curso de biologia da University of Glasgow's College of Medical, Veterinary and Life Sciences. Este método foi importante, pois fez os alunos usarem o laboratório virtual, no qual precisaram desenvolver técnicas de microbiologia como técnica estéril, técnica de isolamento de colônia e de isolamento de cepa de bactéria resistente etc. E, por fim, o trabalho de Tu, Xin e Zhang (2020) [#22], visto na parte (d) da Fig. 6 mostra uma aplicação no ensino de microbiologia de uma animação digital em RVI, pois a animação de realidade virtual pode ser interativa e, neste caso, a animação foi aplicada para promover a capacitação dos alunos sobre o conteúdo de microbiologia. Ao final deste estudo, percebeu-se que os alunos se integraram mais ao estudar sobre a evolução da contaminação dos fungos e é verídico que com essa metodologia de ensino não há risco de contaminação do ambiente.

Com efeito, os trabalhos [#1 #6 #9 #12 #16] respondem a Q<sub>1</sub> de forma a relatar os resultados de uso de ambientes de RVI, mas com a preocupação nos processos de ensino e aprendizagem.

Kurilovas (2016) [#1] enfatiza que o sistema de realidade virtual imersiva promove o crescimento cognitivo dos alunos e uma aprendizagem mais satisfatória. Na análise, constatou-se que o ambiente de realidade virtual tem benefícios na área da educação por trazer múltiplas representações de espaço e tempo, inclusão de conceitos abstratos e não táteis e o direcionamento da atenção do aluno.

No caso do trabalho de Thisgaard e Makransky (2017) [#6], alguns alunos do ensino médio realizaram a simulação virtual. Estes relataram se sentir mais confortável, mais mobilizados e com maior interesse com sobre à disciplina de biologia, tendo em vista que aprendizagem por simulação virtual é inovadora e facilita a compreensão de novos conceitos. Após análises dos testes, o estudo evidencia que as simulações virtuais são comparativamente superiores ao ensino tradicional.

Em Zhang, et al, (2017) [#9] a realidade virtual melhora aprendizagem percebida, mas é necessário ter cuidado com a tecnologia, pois ela precisa ser acessível ao usuário e de fácil uso. Um ambiente de aprendizagem de realidade virtual, com

alto grau de controle, exige do aluno um maior nível de compreensão do conteúdo. Nota-se que, com o estudo, que a realidade virtual pode aprimorar o pensamento crítico-reflexivo que leva a aprendizagem, porém, sem suporte do professor, os alunos criam barreiras no ambiente virtual, tornando-se um material sem foco.

Em Potane e Bayeta (2018). [#12], a realidade virtual é uma ferramenta educacional que explora diversos ambientes, assim para que os alunos interpretassem a Educação de Física Tecnológica (PhET), a partir do conhecimento prévio que os alunos têm de Ciências da Terra, Biologia, Química, Física e Matemática. Neste artigo, vemos que a simulação de laboratório virtual melhorou o ensino e aprendizagem, a compreensão dos conhecimentos científicos. No caso do trabalho de Bennett Saunders (2019) [#16] foi realizada a aplicação de uma realidade virtual que tinha com o título “A Viagem ao Centro da célula” no qual os alunos conseguiram ter uma melhor visualização das organelas celulares. O estudo avaliou o impacto na aprendizagem experimental de biologia celular desses alunos. Assim, com a experiência de realidade virtual, 93,55% dos alunos ficaram mais engajados com relação aos assuntos de organelas.

Na Fig. 7, apresentam-se os trabalhos que respondem a Q1, todavia apenas aqueles que são utilizados algum ambiente de RVI como artefato da pesquisa. No artigo de Jensen (2017) [#4] visto na parte (a) apresenta uma ferramenta devotada a colaboração e socio interação virtual. Na pesquisa, os usuários da ferramenta, criaram um protótipo de RVI com o objetivo de levar às novas reflexões sobre o seu processo de criação meta-reflexivo. A significância do estudo é perceptível ao final da criação do ambiente de RVI, e, principalmente, a interação com o sistema foi indispensável para fomentar a criatividade dos protótipos.

Destacado na parte (b) o trabalho [#5] apresenta as diferentes representações e o meio mais interativo permite que um ambiente de RV promova uma maior aprendizagem. Alunos de medicina usaram a realidade virtual sobre as estruturas do ouvido interno. Após análise dos resultados, percebeu-se que os alunos tiveram um ganho de altas habilidades espaciais e aprendizagem geral e específica das estruturas do ouvido interno.

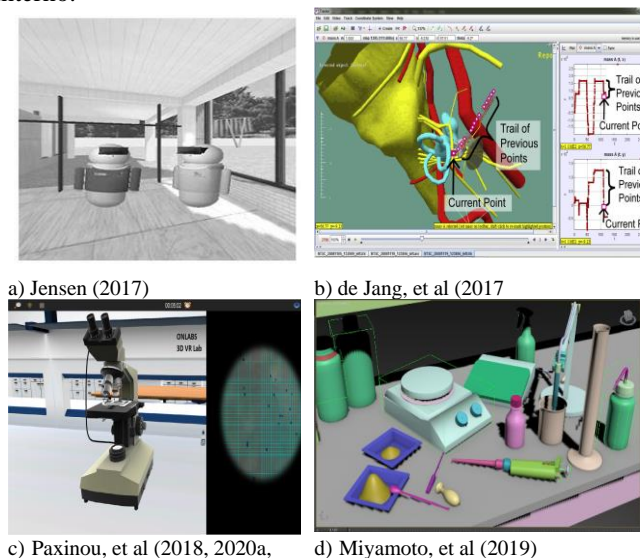


FIG. 7 - TRABALHOS QUE RESPONDEM A Q1

Em Miyamoto, et al (2019) [#17], visto na parte (d), a experiência do laboratório virtual faz o aluno criar uma forte

conexão entre conhecimento científico e a experiência, por isso o laboratório de realidade virtual pode ser a chave para aprimorar: a compreensão dos alunos; as habilidades práticas; a metodologia investigativa e o raciocínio lógico. No laboratório virtual, os alunos prepararam a balança, fizeram pesagem do reagente e da solução, ajustaram o pH e realizaram a micropipetagem. Observamos a relevância da pesquisa uma vez que o laboratório virtual promoveu aprendizagem ativa em cinco fatores: atividade guiada, reflexão, feedback controle e pré-treinamento para o laboratório real.

Os trabalhos [#11, #19, #20] da equipe Paxinou, et al, são aplicações que utilizam o mesmo ambiente de RVI, o OnLabs, descrito na parte (c). Este ambiente simula o laboratório de biologia da Universidade Aberta Helénica e é utilizado para a formação de estudantes de biologia no uso adequado do equipamento de laboratório e na realização de experiências.

No seu estudo Paxinou, et al (2018) [#11], visto na parte (c), tem-se um laboratório de realidade virtual que foi utilizado para ensino de técnicas e de protocolo de microscopia. Depois da experiência no laboratório de realidade virtual, os alunos tiveram que realizar como avaliação um procedimento completo de microscopia usando um microscópio real. É possível perceber a relevância do estudo ao visualizar que ocorreu um aumento no nível de aprendizagem significativa dos alunos sobre a microscopia óptica.

No artigo de Paxinou, et al (2020) [#19], o laboratório de realidade virtual tem se mostrado um grande potencial e que contribuiu para aprendizagem, com auxílio para procedimentos de microscópio óptico no laboratório virtual. A pesquisa foi feita em três grupos de estudantes: O grupo do laboratório convencional, o grupo do instruções por vídeo e o grupo do uso da realidade virtual. Os três grupos foram submetidos a um pré-teste e a um pós-teste. A grande relevância da pesquisa foi constatar que os alunos que utilizaram do laboratório convencional precisaram de mais apoio comparativamente com os alunos que participaram da realidade virtual, pois tiveram menos auxílio, conseguiram desenvolver a operação de modo correto.

Em Paxinou, (2020) [#20], no laboratório de realidade virtual os alunos podem explorar conceitos científicos específicos e potencializar a construção do conhecimento, além de ser mais seguro e mais barato. Os alunos foram separados em dois grupos para realizar o pré-teste e o pós-teste, o grupo controle recebeu instruções tradicionais e o grupo experimental usou a metodologia de realidade virtual. A partir da avaliação dos testes os alunos que utilizaram do laboratório de realidade virtual tiveram mais segurança sobre os procedimentos e sobre o conhecimento que adquiriram. A grande magnitude do estudo é realçar que os alunos que realizaram a experiência no laboratório virtual pediram ajuda duas vezes menos do que os alunos das instruções tradicionais.

Na FIG. 8, apresentam-se os trabalhos que respondem a Q2 e demais subquestões, todavia apenas aqueles que são utilizados algum ambiente de RVI como artefato da pesquisa.

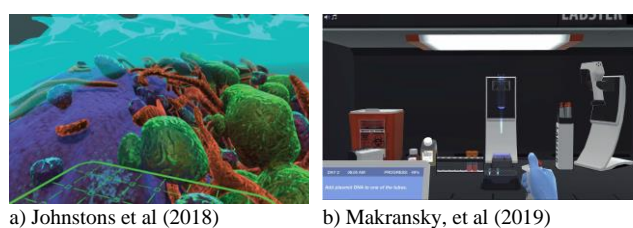


FIG. 8 - TRABALHOS QUE RESPONDEM A Q2

No artigo Johnston, et al, (2018) [#10], comenta que a visualização de múltiplas dimensões é algo limitado uma fotografia no livro didático, a aplicação de realidade virtual imersiva se torna mais acessível à visualização 3D.

A pesquisa descreve um ambiente de realidade virtual imersiva, como que o usuário, no caso aluno, interage de modo intuitivo com o mundo virtual, porém é necessário ter cuidado para não criar um ambiente que cause náusea e enjojo. Por isso, os dois ambientes criados, no estudo, possuem o pano de fundo que possibilita ao usuário rastrear a sua posição na realidade virtual sem ter mal estar.

Em Makransky; Terkildsen e Mayer (2019) [#15], a realidade virtual necessita de uma modelagem 3D e outras ferramentas específicas que ampliem a visualização e a manipulação dos objetos para o usuário. Com a realidade virtual o aluno

Consciência que influenciam o usuário: o Senso de conectividade corporal, o Sentido de extensão corporal, a Conectividade emocional e a Sensação de estar no ambiente virtual. Destacamos que a pesquisa corrobora que o estado psicológico influencia na sensação da experiência de um ambiente real ou não real de realidade virtual.

Em Morimoto e Ponton (2020) [#21] traz que existem alguns materiais de realidade virtual imersiva que auxiliam na explicação do ensino de Biologia como a visualização da estrutura celular, a orientação e formação da Visão animal, a geometria de proteínas, a simulação e paisagens naturais como o deserto, a floresta amazônica, etc. Há ainda uma plataforma de realidade virtual chamada "BioVR" que tem mundo virtual autossustentável, nele é possível ensinar o processo da evolução do planeta e dos seres vivos. No último Son (2016) [#15], o aspecto de interesse do estudo é sobre o

TABLE V. CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS APRESENTADAS NOS TRABALHOS ESTUDADOS

Requisito	#01	#02	#03	#04	#05	#06	#07	#08	#09	#10	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20	#21	#22
1.Manipulação dos Objetos 3D	S	S	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
2.Representação concreta de conceitos abstratos	S	S	S	S	S	S				S	S	S	S	S	S	S				S	S	S
3. Exploração e Navegação		S	S	S	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
4.Interatividade e Feedback		S		S	S	S			S	S	S		S		S	S	S	S	S	S	S	S
5.Experimentação e Simulação	S	S		S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S		S	S	S	S
6.Condução do usuário							S	S	S					S		S		S				
7.Verificação de Aprendizado		S	S		S	S				S	S		S	S		S	S		S	S	S	

consegue observar e ampliar fenômenos e formas não visíveis a olho nu. Este artigo, trata-se de como melhorar a aprendizagem e a transferência de conceitos espontâneos para o conhecimento científico, elevando o engajamento dos alunos, a mobilização e o processamento cognitivo por meio do uso do ambiente da realidade virtual.

Os demais trabalhos aqui apresentados são discussões sobre a validade educacional e as potencialidades da RVI nos trabalhos, bem como visto a preocupação dos pesquisadores em relatar as demandas da utilização da tecnologia e suas implicações no ensino.

Em Detyna e Kadiri (2020) [#18]. A realidade virtual imersiva está sendo cada vez mais investida em sua aplicação no ensino superior. Até o momento, viu-se que os alunos do ensino superior quando usam realidade virtual imersiva se tornam mais autônomos e mais responsáveis por suas atividades. No estudo, notou-se que o uso realidade virtual traz aos estudantes maior envolvimento com o conteúdo, além de melhorar a aprendizagem de conceitos essenciais.

No artigo de Dooley (2017) [#7] de caráter descritivo explica que a realidade virtual envolve o usuário em 360 graus. Aspectos relevantes e de interesse para nossa pesquisa é que a estrutura básica de um mundo virtual deve ser direcionada, evidente e autoexplicativa, uma simulação de realidade virtual em 360 graus cria um ambiente que envolve várias sensações motoras. Para que o usuário não se sentir perdido neste ambiente é preciso que o criador faça um roteiro do passeio virtual, assim pode facilitar a movimentação do usuário.

Em Makransky, Lilleholt e Aaby (2017) [#8] a pesquisa certifica que aspectos da presença física da realidade virtual influenciam a sensação do usuário. São elas: o Realismo físico, o Controlar do ambiente virtual e Sensação de estar no ambiente virtual. Aspectos sociais que influenciam o usuário foram: o sentido de coexistência, o Realismo humano e a Não ciente da artificialidade da interação social. Da Própria

uso do laboratório virtual e que ele pode direcionar a aprendizagem do aluno e ajudá-lo em uma experiência inovadora.

Foi feito uma experiência com dois grupos de alunos, um grupo fez uso do laboratório presencial e outro grupo de alunos realizou as atividades no laboratório virtual.

Assim, após a comparação dos resultados dos questionários dos dois grupos os alunos que usaram o laboratório virtual tiveram resultados melhores do que os alunos com laboratório real tradicional.

De posse de todos estes dados foi proposta a Tabela V no intuito de visualizar as características encontradas nas tecnologias e aplicações descritos nos trabalhos estudados.

A partir da análise dos trabalhos relatados foi possível perceber que algumas características dos ambientes e aplicativos RVI são indispensáveis na construção de novo ambiente virtual, que possa potencializar e fortalecer processo de desenvolvimento cognitivo dos alunos, promovendo a aprendizagem significativa. Características como a possibilidade de manuseio da imagem, o ambiente exploratória e de fácil execução do usuário favorecem diretamente a aprendizagem perspectiva do aluno, sua participação ativa com o ambiente e a fácil compreensão de conceitos abstratos, em especial, conceitos relacionados aos microrganismos.

## VI. OPORTUNIDADES PARA TECNOLOGIA DE REALIDADE VIRTUAL NO ENSINO DE MICROBIOLOGIA

O ensino de microbiologia é contextualizado na experiência e no contato com os seus elementos, trazendo uma inseparável condição de aprendizado por meio destas experiências, sejam no mundo real ou no mundo virtual [34]. Assim, o ensino por meio destes ambientes e softwares desempenham um papel essencial no estímulo do interesse e entusiasmo dos estudantes na aprendizagem, especialmente no aprofundamento da compreensão do conhecimento

declarativo e no cultivo do pensamento científico, espírito crítico, prática e capacidade de inovação dos estudantes, e capacidade de investigação independente [35]. Ademais, na atribuição de recursos experimentais, a tecnologia Realidade Virtual reduz o custo de montagem e manutenção de laboratórios experimentais [36], e a simulação virtual também garante a segurança e controle biológico da operação experimental [37].

Para além das abordagens tradicionais, apenas usar tecnologia de RV como estímulo ou diferencial nas aulas não é suficiente. Mesmo como elemento facilitador do aprendizado ou como apoiador no processo de verificação de aprendizagem, trata-se de uma tecnologia que, para melhor resultado educacional, deve ser associada a um arcabouço pedagógico composto de processos de ensino [38], exploração do ambiente [39] e avaliação de aprendizagem [40].

Ademais, reforçamos que para uma melhor experiência de aprendizado, questões como o realismo da simulação [41], *affordances* [42] e a cadências de interações do usuário [43], e por fim as percepções do usuário sobre o processo [44].

As oportunidades endereçadas por este trabalho visam não só o desenvolvimento de aplicativos, mas completa-se pela perspectiva de pesquisa com artefatos digitais, sendo que mais análises sobre os arcabouços pedagógicos são bem-vindos à discussão.

## VII. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A divulgação desse trabalho corrobora para romper paradigmas de que ao realizar a aplicação da realidade virtual imersiva, em sala de aula, é necessário custo monetário elevado. Quando, na verdade, a utilização da realidade virtual imersiva pode ser de baixo custo e promover uma melhor aprendizagem.

Apesar de ser uma ferramenta pedagógica ainda pouco utilizada, os relatos dos alunos, que já utilizaram desta ferramenta, destaca que eles se sentem mais capacitados e orientados sobre os novos conceitos após manipular uma realidade virtual. No caso das ciências biológicas, os conteúdos exigem dos alunos a habilidade de visualização tridimensional, porém no ensino tradicional essa visualização é mais ineficaz comparada a utilização da ferramenta de realidade virtual imersiva, devido que a aplicação da realidade virtual imersiva favorece de modo significativo a visualização de múltiplas dimensões.

A realidade virtual imersiva, para o ensino de microbiologia, facilita a compreensão dos alunos sobre a interação que os microrganismos têm com o meio ambiente e com hospedeiro que podem parasitar. A tecnologia ainda é capaz de facilitar o entendimento das reações bioquímicas que esses organismos realizam e a potencializar o entendimento dos alunos sobre o método científico investigativo. Assim, a realidade virtual imersiva no contexto biológico favorece as habilidades cognitivas e espaciais. Mobiliza os alunos para um melhor desempenho na disciplina além de solidificar conteúdos abstratos.

## REFERÊNCIAS

- [1] J. Labovitz and C. Hubbard, "The Use of Virtual Reality in Podiatric Medical Education," *Clinics in Podiatric Medicine and Surgery*, vol. 37, no. 2, pp. 409–420, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.cpm.2019.12.008.
- [2] A. Makhkamova, J.-P. Exner, T. Greff, and D. Werth, "Towards a Taxonomy of Virtual Reality Usage in Education: A Systematic Review," in *Augmented Reality and Virtual Reality: Changing Realities in a Dynamic World*, Springer, 2020, pp. 283–296. doi: 10.1007/978-3-030-37869-1\_23.
- [3] A. C. Howland, R. Rembisz, T. S. Wang-Jones, S. R. Heise, and S. Brown, "Developing a virtual assessment center," *Consulting Psychology Journal*, vol. 67, no. 2, pp. 110–126, 2015, doi: 10.1037/cpb0000034.
- [4] H. M. Huang and S. S. Liaw, "An analysis of learners' intentions toward virtual reality learning based on constructivist and technology acceptance approaches," *International Review of Research in Open and Distance Learning*, vol. 19, no. 1, pp. 91–115, 2018, doi: 10.19173/irrodl.v19i1.2503.
- [5] B. Wu, X. Yu, and X. Gu, "Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis," *British Journal of Educational Technology*, vol. 51, no. 6, pp. 1991–2005, 2020, doi: 10.1111/bjet.13023.
- [6] J. Chambers, *The Digital Transformation of Europe: Connecting Schools, Empowering Learners*, no. September. UNESCO / UNICEF, 2020. [Online]. Available: [http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland\\_Berger\\_digital\\_transformation\\_of\\_industry\\_20150315.pdf](http://www.rolandberger.com/media/pdf/Roland_Berger_digital_transformation_of_industry_20150315.pdf)
- [7] C. Celik, G. Guven, and N. K. Cakir, "Integration of Mobile Augmented Reality (MAR) Applications into Biology Laboratory: Anatomic Structure of the Heart," *Research in Learning Technology*, vol. 28, 2020.
- [8] R. C. V. Bôas, A. F. N. Junior, and F. M. de Souza Moreira, "Utilização de recursos audiovisuais como estratégia de ensino de Microbiologia do Solo nos ensinos fundamental II e Médio," *Revista Práxis*, vol. 10, no. 19, 2018.
- [9] É. de Farias Dantas and D. F. Ramalho, "O uso de diferentes metodologias no ensino de microbiologia: Uma revisão sistemática de literatura," *Research, Society and Development*, vol. 9, no. 8, pp. e665986396--e665986396, 2020.
- [10] P. Cabelleira, P. A. Cabelleira, and M. A. R. Martins, "A CONSTRUÇÃO DE UM DISPOSITIVO COMPLEXO DE APRENDIZAGEM PARA O ENSINO DA MICROBIOLOGIA.," *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, vol. 10, no. 1, 2018.
- [11] J. F. Alves, L. B. da Silva, and D. A. dos Reis, "Reflexões sobre metodologias do ensino de Biologia," *Research, Society and Development*, vol. 9, no. 8, pp. e850985951--e850985951, 2020.
- [12] F. G. Barbosa and N. C. de Oliveira, "Estratégias para o Ensino de Microbiologia: uma Experiência com Alunos do Ensino Fundamental em uma Escola de Anápolis-GO," *Revista de Ensino, Educação e Ciências Humanas*, vol. 16, no. 1, pp. 5–13, 2015.
- [13] C. D. O. STOPIGLIA, T. da R. PINHEIRO, N. M. A. M. MAHMUD, and T. G. de LIMA, "MICROBIOLOGIA VAI À ESCOLA--ATIVIDADES PRÁTICAS DE ENSINO," 2019.
- [14] S. F. da Silva and A. V. Colombo, "Jogos: Uma Proposta Pedagógica no ensino da Microbiologia para o Ensino Superior.," *ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA*, vol. 13, no. 45, pp. 110–123, 2019.
- [15] B. B. Torres, G. S. Arini, I. C. dos Santos, V. C. Ferreira, and M. L. C. Carvalhal, "Um jogo didático para o ensino de microbiologia," *Experiências em ensino de ciências*, vol. 15, no. 1, pp. 1–23.
- [16] M. J. R. B. Silva, L. C. P. da Costa Gomes, and E. C. O. de Matos, "Maquetes para educação interativa em microbiologia no estudo da morfologia de

- microorganismos,” *Revista Brasileira de Educação e Saúde*, vol. 8, no. 3, pp. 62–66, 2018.
- [17] G. C. Paixão *et al.*, “Paródias no ensino de microbiologia: a música como ferramenta pedagógica,” *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde*, vol. 11, no. 1, 2017.
- [18] P. B. L. de Oliveira and L. L. B. Morbeck, “Contextualizando o ensino de Microbiologia na Educação Básica e suas contribuições no processo de Ensino-Aprendizagem/Contextualizing the Teaching of Microbiology in Basic Education and its Contributions in the Teaching-Learning Process,” *ID on line REVISTA DE PSICOLOGIA*, vol. 13, no. 45, pp. 450–461, 2019.
- [19] C. Celik, G. Guven, and N. K. Cakir, “Integration of mobile augmented reality (MAR) applications into biology laboratory: Anatomic structure of the heart,” *Research in Learning Technology*, vol. 28, 2020.
- [20] T. Keller, P. Glauser, N. Ebert, and E. Brucker-Kley, “Virtual Reality at Secondary School--First Results,,” *International Association for Development of the Information Society*, 2018.
- [21] M. T. Saritas, “Chemistry Teacher Candidates’ Acceptance and Opinions about Virtual Reality Technology for Molecular Geometry,,” *Educational Research and Reviews*, vol. 10, no. 20, pp. 2745–2757, 2015.
- [22] C. v Schwarz *et al.*, “Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners,” *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, vol. 46, no. 6, pp. 632–654, 2009.
- [23] K. S. Choi, X. He, V. C. L. Chiang, and Z. Deng, “A virtual reality based simulator for learning nasogastric tube placement,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 57, pp. 103–115, 2015, doi: 10.1016/j.compbiomed.2014.12.006.
- [24] K. S. Choi, X. He, V. C. L. Chiang, and Z. Deng, “A virtual reality based simulator for learning nasogastric tube placement,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 57, pp. 103–115, 2015, doi: 10.1016/j.compbiomed.2014.12.006.
- [25] J. N. Bailenson, N. Yee, J. Blascovich, A. C. Beall, N. Lundblad, and M. Jin, *The use of immersive virtual reality in the learning sciences: Digital transformations of teachers, students, and social context*, vol. 17, no. 1. 2008. doi: 10.1080/10508400701793141.
- [26] L. De Gauquier, M. Brengman, K. Willems, and H. Van Kerrebroeck, “Leveraging advertising to a higher dimension: experimental research on the impact of virtual reality on brand personality impressions,” *Virtual Reality*, vol. 23, no. 3, pp. 235–253, 2019, doi: 10.1007/s10055-018-0344-5.
- [27] Z. Feng, V. A. González, R. Amor, R. Lovreglio, and G. Cabrera-Guerrero, “Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review,” *Computers and Education*, vol. 127, pp. 252–266, 2018, doi: 10.1016/j.compedu.2018.09.002.
- [28] C. Chen, “Science Mapping: A Systematic Review of the Literature,” *Journal of Data and Information Science*, vol. 2, no. 2, Mar. 2017, doi: 10.1515/jdis-2017-0006.
- [29] J. Garzón, J. Pavón, and S. Baldiris, “Systematic review and meta-analysis of augmented reality in educational settings,” *Virtual Reality*, vol. 23, no. 4, pp. 447–459, Dec. 2019, doi: 10.1007/s10055-019-00379-9.
- [30] B. Kitchenham and S. Charters, “Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering,” 2007.
- [31] N. J. van Eck and L. Waltman, “Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping,” *Scientometrics*, vol. 84, no. 2, pp. 523–538, Aug. 2010, doi: 10.1007/s11192-009-0146-3.
- [32] A. García-Holgado, S. Marcos-Pablos, and F. García-Peñalvo, “Guidelines for performing Systematic Research Projects Reviews,” *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, vol. 6, no. 2, p. 9, 2020, doi: 10.9781/ijimai.2020.05.005.
- [33] D. Kusumaningsih, “Mendeley As A Reference Management and Citation Generator for Academic Articles,” 2018. doi: 10.2991/icase-18.2018.22.
- [34] T. A. Mikropoulos, A. Katsikis, E. Nikolou, and P. Tsakalis, “Virtual Environments in Biology Teaching,” *Journal of Biological Education*, vol. 37, no. 4, pp. 176–181, 2003.
- [35] L. Stuchlikova, A. Kosa, P. Benko, and P. Juhasz, “Virtual reality vs. reality in engineering education,” *ICETA 2017 - 15th IEEE International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications, Proceedings*, 2017, doi: 10.1109/ICETA.2017.8102533.
- [36] E. F. Damasceno and T. V. P. Damasceno, “Experimentação pedagógica de laboratórios virtuais para ensino de manutenção de microcomputadores,” *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial-ISSN-1983-1838*, pp. 125–140, 2013.
- [37] S. G. Izard, J. A. Juanes, F. J. García Peñalvo, J. M. G. Estella, M. J. S. Ledesma, and P. Ruisoto, “Virtual Reality as an Educational and Training Tool for Medicine,” *Journal of Medical Systems*, vol. 42, no. 3, p. 50, Mar. 2018, doi: 10.1007/s10916-018-0900-2.
- [38] K. Tanner and D. Allen, “Approaches to biology teaching and learning: Understanding the wrong answers-teaching toward conceptual change,” *Cell Biology Education*, vol. 4, no. SUMMER, pp. 112–117, Jun. 2005. doi: 10.1187/cbe.05-02-0068.
- [39] E. O’Brien, B. Jacquouton, A. Moineau, and A. G. Campbell, “Wikipedia in Virtual Reality and How Text-based Media can be Explore in Virtual Reality,” *ACM International Conference Proceeding Series*, 2019, doi: 10.1145/3358331.3358401.
- [40] N. S. Nowlan, P. Hartwick, and A. Arya, “Skill assessment in virtual learning environments,” *CIVEMSA 2018 - 2018 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, Proceedings*, 2018, doi: 10.1109/CIVEMSA.2018.8439968.
- [41] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, “A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda,” *Computers and Education*, vol. 147, no. November 2019, p. 103778, 2020, doi: 10.1016/j.compedu.2019.103778.
- [42] A. Elliott, B. Peiris, and C. Parnin, “Virtual Reality in Software Engineering: Affordances, Applications, and Challenges,” *Proceedings - International Conference on Software Engineering*, vol. 2, no. February, pp. 547–550, 2015, doi: 10.1109/ICSE.2015.191.
- [43] V. Nanjappan, H.-N. Liang, F. Lu, K. Papangelis, Y. Yue, and K. L. Man, “User-elicited dual-hand interactions for manipulating 3D objects in virtual reality environments,” *Human-centric Computing and Information Sciences*, vol. 8, no. 1, p. 31, 2018, doi: 10.1186/s13673-018-0154-5.
- [44] C. Lombart, E. Millan, J.-M. Normand, A. Verhulst, B. LabbÃ©-Pinlon, and G. Moreau, “Effects of physical, non-immersive virtual, and immersive virtual store environments on consumers’ perceptions and purchase behavior,” *Computers in Human Behavior*, vol. 110, p. 106374, 2020, doi: 10.1016/j.chb.2020.106374.