

Impacto da Realidade Virtual Imersiva em Intervenções Neuromotoras para Dislexia: Uma Abordagem Baseada em Prototipagem com Jogos de Ação.

Title: Impact of Immersive Virtual Reality on Neuromotor Interventions for Dyslexia: A Prototyping-Based Approach with Action Games

Phelipe Henrique Alves Batalha Coelho¹, Gustavo Eyer Menezes¹, Marcelo La Carretta¹

¹ICEI - Jogos Digitais – Pontifícia Un. Católica de Minas Gerais (PUC Minas)
R. Claudio Manoel, 1.162 – 30140-108 – Belo Horizonte – MG – Brasil

phabcoelho@sga.pucminas.br, gustavo.e.menezes@outlook.com, marcelo@lacarreta.com.br

Abstract. *The increasing complexity of neurodevelopmental disorders and the pursuit of more effective interventions drive technological innovation. In this context, Immersive Virtual Reality (VR) and gamification emerge as promising tools to enhance education and cognitive rehabilitation, specifically focused on skill development and promoting engagement. This study aims to investigate the practical applications of VR and gamification in educational and therapeutic contexts, emphasizing their ability to assess and train cognitive skills in children with neuropsychological disorders, such as dyslexia, ADHD, and Autism Spectrum Disorder (ASD). To this end, a prototype immersive VR system was developed. This system recreates standardized tests for fine motor coordination (the 9 Hole Peg Test) and visuospatial working memory (the Corsi Cubes), in addition to incorporating a custom game for integrated dexterity and memory assessment. The development was carried out using Unity and Meta Quest 2, focusing on the precision of real-time data collection. Preliminary results from the prototype suggest that integrating VR can provide a more immersive and personalized learning and rehabilitation experience, fostering high engagement and delivering detailed data for clinical analysis. We conclude that this approach holds great potential to complement traditional interventions and optimize the monitoring of children with the mentioned disorders.*

Keywords Virtual Reality, Gamification, Neurodevelopment, ADHD, Dyslexia, Education, Rehabilitation

Resumo. *A crescente complexidade dos distúrbios do neurodesenvolvimento e a busca por intervenções mais eficazes impulsionam a inovação tecnológica. Neste contexto, a Realidade Virtual (RV) e a gamificação emergem como ferramentas promissoras para aprimorar a educação e a reabilitação cognitiva, especificamente focadas no desenvolvimento de habilidades e na promoção do engajamento. Este estudo visa investigar as aplicações práticas da RV e da gamificação em contextos educacionais e terapêuticos, com ênfase em sua capacidade de avaliar e treinar habilidades cognitivas em crianças com distúrbios neuropsicológicos, como dislexia, TDAH e Transtorno do Espectro do Autismo (TEA). Para este fim, foi desenvolvido um protótipo de sistema imersivo em RV. Este sistema recria testes padronizados de coordenação motora fina*

(9 Hole Peg Test) e memória de trabalho visuoespacial (Corsi Cubes), além de incorporar um jogo customizado para avaliação integrada de destreza e memória. O desenvolvimento foi realizado utilizando Unity e Meta Quest 2, focando na precisão da coleta de dados em tempo real. Os resultados preliminares do protótipo sugerem que a integração da RV pode proporcionar uma experiência de aprendizado e reabilitação mais imersiva e personalizada, promovendo alto engajamento e fornecendo dados detalhados para análise clínica. Conclui-se que a abordagem tem grande potencial para complementar intervenções tradicionais e otimizar o acompanhamento de crianças com os distúrbios mencionados.

Palavras-Chave Realidade Virtual, Gamificação, Neurodesenvolvimento, TDAH, Dislexia, Educação, Reabilitação

1. Introdução

O videogame é uma mídia extremamente contemporânea, e parece nascer já adaptada às exigências dos seus entusiastas, pois é um reflexo de nosso novo tempo digital [La Carretta 2012]. De maneira similar, a realidade virtual surge alinhada às demandas do mundo moderno, representando uma extensão natural das tecnologias interativas. Essa busca incessante por recriar o mundo físico em ambiente virtual responde a uma questão amplamente debatida no mercado: a viabilidade econômica de reduzir o uso de materiais físicos, em favor de alternativas que maximizem o aprendizado e a produtividade. O custo elevado de recursos físicos pode, assim, ser compensado pelo potencial de estudos em ambientes virtuais, onde é possível experimentar, simular e avaliar resultados sem limitações materiais, transporte e outros dificultadores.

A realidade virtual (RV) e a gamificação estão ganhando atenção como ferramentas inovadoras para complementar a educação e a reabilitação cognitiva. A RV permite a criação de ambientes imersivos que facilitam a adaptação sensório-motora e a avaliação da atividade cognitiva, conforme explorado por [Wright 2014] e [Tremmel 2019]. Por outro lado, o estudo de [Bavelier 2019] mostrou que os jogos de ação podem melhorar significativamente habilidades como a leitura em crianças com dislexia. O objetivo deste artigo é explorar como estas tecnologias podem ser integradas para melhorar a aprendizagem dos estudantes do ensino superior e avaliar as capacidades cognitivas de crianças com deficiências de desenvolvimento para fornecer intervenções mais eficazes e personalizadas.

Sendo assim, foi criado o Grupo de Imersão para Estudos e Transtornos (IET). Recriamos testes tradicionais em realidade virtual, eliminando os custos e, ao mesmo tempo, buscando **maior precisão e acessibilidade** nos resultados.

No **9 Hole Peg Test** em realidade virtual, o usuário deve posicionar pinos em buracos direcionados o mais rápido e com a melhor destreza possível, utilizando apenas uma mão e evitando erros. Durante o teste, coletamos dados como o tempo total, a utilização correta ou incorreta de uma única mão, e informações detalhadas de interação, como quais pinos foram tocados e se eles foram posicionados corretamente.

No **Teste de Cubos de Corsi**, o foco é na memória. O usuário precisa lembrar a sequência exata de cubos que piscaram e replicá-la na ordem correta. Coletamos dados sobre acertos, erros e se o participante inverteu a ordem dos cubos, o que nos permite avaliar tanto a memória de trabalho quanto a capacidade de aprendizado e atenção.



Figura 1. Teste do 9 Hole Peg Test, desenvolvido em realidade virtual



Figura 2. Teste do Cubos de Corsi, desenvolvido em Realidade Virtual

Além desses testes, criamos um terceiro projeto inovador: um jogo de montagem de pizzas, no qual o usuário deve preparar pizzas exatamente como solicitado, no menor tempo possível e sem erros. Aqui, registramos o número de acertos, erros e o tempo gasto para cada tarefa, gerando dados valiosos sobre a coordenação e a precisão do usuário.

O desenvolvimento deste trabalho foi conduzido pelo Grupo de Imersão para Estudos e Transtornos (IET). Para contextualizar a abordagem e a metodologia empregadas, a presente pesquisa descreve as funcionalidades de três módulos principais do sistema: o *9 Hole Peg Test*, o *Corsi Cubes* e um jogo de montagem de pizzas customizado. Além disso, discute as tecnologias utilizadas e apresenta uma revisão de trabalhos relacionados, delineando a relevância e a originalidade da proposta. Por fim, são apresentados os resultados obtidos e as considerações finais sobre o impacto potencial da RV e da gamificação em intervenções neuromotoras para dislexia e outros distúrbios do neurodesenvolvimento.

2. Tecnologias Utilizadas

A combinação entre realidade virtual e sensores neurofisiológicos tem ganhado espaço no desenvolvimento de sistemas educacionais e terapêuticos. Para o desenvolvimento do projeto apresentado, foram utilizadas ferramentas amplamente consolidadas na indústria de jogos e simulações, como Unity, Blender e o headset Meta Quest 2.

2.1. Unity e Blender

O Unity é um motor de desenvolvimento multiplataforma que permite a criação de ambientes interativos tridimensionais com suporte nativo para dispositivos de realidade virtual. Sua popularidade em contextos educacionais e terapêuticos é amplamente reconhecida [Freina e Ott 2015]. Em projetos com enfoque neurocognitivo, o Unity permite a integração com bibliotecas específicas para rastreamento de movimento, análise comportamental e visualizações imersivas [Parong e Mayer 2017].

O Blender, por sua vez, foi utilizado para a modelagem dos objetos e cenários tridimensionais empregados nos testes. Por ser open-source e possuir ferramentas robustas de escultura, texturização e rigging, ele se tornou uma escolha eficiente para prototipagem rápida em ambientes acadêmicos [Caggianese et al. 2018].

2.2. Óculos Meta Quest 2

O Meta Quest 2 é um headset autônomo de realidade virtual com suporte ao rastreamento das mãos, sem necessidade de controladores físicos. Ele permite uma experiência imersiva e natural, facilitando a criação de testes que se aproximam da manipulação do mundo real. Estudos têm explorado sua eficácia em contextos educacionais e de reabilitação, com resultados promissores em tarefas de coordenação motora e treinamento cognitivo [Tieri et al. 2021].

2.3. Integração com Banco de Dados

A integração com um banco de dados é um componente essencial em qualquer processo de desenvolvimento de software, pois permite o armazenamento, a recuperação e a gestão eficiente dos dados coletados. No contexto deste projeto, utilizamos um banco de dados hospedado na 'Hostinger', configurado com MySQL para a gestão dos dados e PHP para a comunicação e manipulação.

Essa infraestrutura de dados foi crucial para viabilizar a amostragem e visualização dos resultados de cada teste realizado no ambiente de Realidade Virtual. Os dados coletados, como nome do paciente, tempo gasto, taxa de acertos, entre outros, eram apresentados de forma intuitiva em um site dedicado.

3. Revisão de Trabalhos Relacionados

Diversos estudos recentes vêm combinando realidade virtual com propósitos educacionais ou clínicos. A seguir, destacamos algumas contribuições relevantes.

4. Metodologia

O método deste estudo baseia-se no desenvolvimento de um **protótipo de sistema imersivo de realidade virtual (RV)**, concebido para avaliar e treinar a cognição em crianças com transtornos de desenvolvimento neuropsicológico (como dislexia, TDAH, deficiência em habilidades motoras e transtorno do espectro do autismo (TEA)). O protótipo foi elaborado durante o Hackaton PUC Minas Desafio ODS, fundamentado em pesquisas preliminares que forneceram o embasamento teórico para sua construção.

4.1. Os Jogos

Para a avaliação e treinamento, foram selecionados e adaptados testes amplamente reconhecidos na área da psicologia e reabilitação, além da criação de um jogo customizado:

Trabalho	Estudo
Ke et al. (2019) [Ke e Im 2019]	Propuseram um ambiente virtual gamificado para treinamento de habilidades matemáticas em crianças com dificuldades de aprendizagem, monitorando o engajamento. Os resultados demonstraram aumento da motivação e melhor desempenho cognitivo.
Tieri et al. (2021) [Tieri et al. 2021]	Investigaram o uso do Oculus Quest 2 em contextos de reabilitação neuromotora, indicando que o feedback neurofisiológico pode ser usado para adaptar tarefas em tempo real, potencializando o aprendizado e acelerando a reabilitação.
Cipresso et al. (2018) [Cipresso et al. 2018]	Analisaram mais de 60 trabalhos que integraram RV e sinais fisiológicos, reforçando a eficácia da combinação para o treinamento de funções executivas.
Lee et al. (2020) [Lee et al. 2020]	Demonstraram que a imersão em tarefas de memória em RV, acompanhada da análise de padrões cerebrais, fornece indicadores robustos sobre a carga mental, sendo útil como métrica adaptativa para ajuste de dificuldade.
Putze et al. (2010) [Putze et al. 2010]	Apresentaram um sistema modular com aplicações interativas, como jogos e simulações educacionais. Essa arquitetura inspirou parte da estrutura técnica deste projeto.

Tabela 1. Estudos relacionados ao uso de realidade virtual para aprendizagem e reabilitação

4.1.1. 9 Hole Peg Test (9HPT)

O *9 Hole Peg Test* é um teste padronizado utilizado para avaliar a **destreza manual fina** e a **coordenação motora** das extremidades superiores. A tarefa consiste em inserir nove pequenos pinos em orifícios dispostos em uma matriz 3x3 sobre uma base e, em seguida, removê-los, um por um, o mais rapidamente possível. O tempo necessário para completar a tarefa é registrado como medida de desempenho. Sua aplicação permite avaliar a função motora de cada mão separadamente e acompanhar a progressão de doenças neurológicas. Na versão em RV, o usuário deve posicionar pinos em buracos direcionados com a melhor destreza possível, utilizando apenas uma mão e evitando erros. Durante o teste, são coletados dados como tempo total, utilização correta ou incorreta de uma única mão, e informações detalhadas de interação, como quais pinos foram tocados e se foram posicionados corretamente.

4.1.2. Corsi Cubes (Teste de Corsi)

Já o *Corsi Cubes*, ou Teste de Corsi, é uma tarefa clássica de avaliação da **memória de trabalho visuoespacial**, frequentemente empregada na neuropsicologia para investigar o funcionamento cognitivo em populações clínicas e saudáveis. O teste é composto por blocos fixos dispostos de maneira não linear sobre uma superfície. Durante a aplicação, o usuário toca uma sequência de blocos em uma determinada ordem e o participante deve

repetir a sequência na mesma ordem (versão direta) ou na ordem inversa (versão reversa). A complexidade da tarefa aumenta progressivamente com o acréscimo de novos blocos à sequência. O desempenho é medido com base no comprimento da sequência mais longa corretamente reproduzida, o que fornece informações importantes sobre a capacidade de retenção e manipulação de informações espaciais na memória de curto prazo. Na versão em RV, o foco é na memória, onde o usuário precisa lembrar a sequência exata de cubos que piscaram e replicá-la na ordem correta. São coletados dados sobre acertos, erros e se o participante inverteu a ordem dos cubos, permitindo avaliar a memória de trabalho, aprendizado e atenção.

4.1.3. Jogo de Montagem de Pizzas (Customizado)

O terceiro jogo foi desenvolvido de forma totalmente personalizada pelos integrantes do grupo IET (grupo responsável pelo estudo realizado durante o Hackathon). Composto por desenvolvedores e psicólogos, o grupo criou um jogo capaz de avaliar simultaneamente a **destreza manual** e a **capacidade de memória**. Além disso, a proposta garante uma experiência divertida aos participantes, oferecendo uma abordagem lúdica para a avaliação do desempenho em um ambiente de Realidade Virtual. No jogo, o usuário deve preparar pizzas exatamente como solicitado, no menor tempo possível e sem erros. Aqui, registramos o número de acertos, erros e o tempo gasto para cada tarefa, gerando dados valiosos sobre a coordenação e a precisão do usuário.

4.2. Desenvolvimento de sistemas de realidade virtual

O sistema foi desenvolvido em Unity usando um Oculus Quest 2 como dispositivo de realidade virtual, controlado pelo rastreamento dos movimentos das mãos. A plataforma cria ambientes virtuais imersivos que simulam cenários interessantes, como salas de aula e parques, onde as crianças podem realizar tarefas destinadas a avaliar e melhorar habilidades cognitivas específicas.

O principal desafio na adaptação de jogos já utilizados contemporaneamente foi manter a sensação de realismo fora da própria realidade. Por esse motivo, não foi possível utilizar efeitos visuais exagerados ou incluir objetos que se distanciassem demais do mundo real. Além disso, as vozes utilizadas na comunicação precisaram ser pré-gravadas pelos desenvolvedores, e o uso de cores e elementos visuais também tiveram que ser moderados. Por fim, o controle foi feito de forma externa, por um computador acompanhado por psicólogos que aplicavam os testes.

4.3. Gamificação e Tarefas Cognitivas

As tarefas foram gamificadas para aumentar o engajamento das crianças, sendo inspiradas em métodos usados em terapia ocupacional e jogos educativos. As atividades incluem:

- **Atividades de coordenação motora:** Envolvendo o rastreamento de objetos em movimento, manipulação de blocos virtuais e resolução de quebra-cabeças.
- **Tarefas de memória:** Utilizando jogos de correspondência e sequência, onde os participantes são desafiados a lembrar e repetir padrões visuais e auditivos.
- **Desafios de atenção e concentração:** Os jogadores precisam selecionar e focar em objetos ou eventos específicos em um ambiente dinâmico, reduzindo distrações.

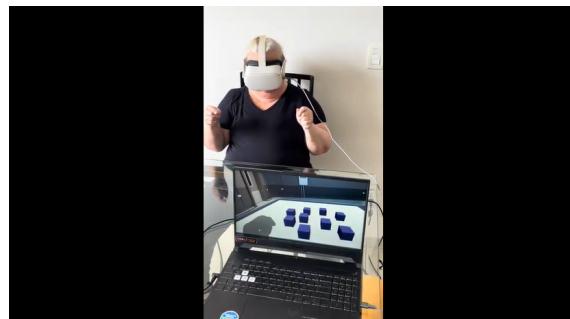


Figura 3. Aplicação do Cubos de Corsi controlados por Hardware externo

4.4. Coleta e análise de dados

Um aspecto importante deste projeto é a coleta automatizada e precisa de dados durante a execução dos testes, que são imediatamente disponibilizados em uma plataforma web para análise pela equipe clínica. A implementação técnica utiliza a classe UnityWebRequest do Unity Engine para transmissão assíncrona de dados em formato JSON para um servidor centralizado, evitando impactos no desempenho da aplicação em VR mesmo durante transmissões de alta frequência.

Durante a execução das atividades, dados sobre o desempenho dos usuários são coletados em tempo real e enviados para um banco de dados relacional desenvolvido especificamente para o projeto. Essa coleta inclui informações como:

- Tempo gasto em cada tarefa
- Taxa de acertos e erros
- Nível de dificuldade escolhido
- Interações realizadas durante o jogo

Homem							Dados		
28	III	2024-09-30 05:28:24	Mostrar Sequência						
29	III	2024-09-30 08:28:24	Mostrar Sequência						
30	Pessoa01	2024-09-30 14:48:00	Mostrar Sequência						
31	Pessoa02	2024-09-30 14:50:58	Ocultar Interações						
			Sequência Correta	Sequência Digitada	Acertou	Errou	Invertida		
			83	83	Sim	Não	Não		
			49		Não	Sim	Não		
			288	288	Sim	Não	Não		
			818		Não	Sim	Não		
			8528		Não	Sim	Não		
32	Pessoa03	2024-09-30 17:29:13	Ocultar Interações						
			Sequência Correta	Sequência Digitada	Acertou	Errou	Invertida		
			63	31	Não	Sim	Não		
			49	49	Sim	Não	Não		

Figura 4. Tabela de Dados coletados durante o Hackaton PUC Minas Desafio ODS

4.5. Justificativa do Estudo

A realidade virtual pode traçar dados importantes para a realização de diversos estudos. Pode ajudar indivíduos a superar estados com deficiência no desenvolvimento, facilitando

a adaptação do cérebro a mudanças no ambiente sensorial [Wright 2014]. Além disso, é interessante a utilização de métodos que avaliem a atividade neurológica durante tarefas - como comparação de coleta de resultados ou utilização de capacete EEG. [Tremmel 2019].

Ekaterina Prasolova-Forland, professora da Universidade Norueguesa de Ciência e Tecnologia (NTNU) e palestrante da SBGames 2024, afirma em seu artigo, através de experimentos, que ambientes virtuais colaborativos podem ser uma ferramenta importante para promover empatia e estimular a habilidade de reconhecimento [Prasolova-Førland e Divitini 2003].

5. Resultados e Análise Preliminar

Este trabalho se concentrou na proposição e desenvolvimento de um protótipo de sistema imersivo em realidade virtual para avaliação e treinamento de habilidades cognitivas em crianças com distúrbios do neurodesenvolvimento. Os resultados apresentados são de natureza qualitativa e exploratória, derivados da concepção e dos primeiros testes, visando demonstrar a viabilidade da abordagem e seu potencial para futuras validações.

Os testes iniciais indicaram que o ambiente de RV foi capaz de simular eficazmente as tarefas propostas (9 Hole Peg Test, Corsi Cubes e o jogo de pizzas customizado). Observou-se alto engajamento dos usuários devido ao caráter lúdico e imersivo das atividades, corroborando a literatura sobre gamificação como fator motivacional.

Embora um estudo de caso formal com grupos de controle não tenha sido realizado, a observação preliminar sugere que o sistema tem potencial para oferecer uma experiência de aprendizagem e reabilitação mais imersiva e personalizada. A capacidade de adaptar os níveis de dificuldade e cenários em tempo real otimiza as intervenções, como sugerido por [Wright 2014]. A validação do material reside na demonstração da funcionalidade do protótipo e na confiabilidade da coleta de dados. A replicação de testes psicométricos em ambiente virtual e o registro consistente de interações são indicadores iniciais da validade técnica. A comprovação rigorosa do sucesso em intervenções clínicas requer estudos longitudinais controlados. Em suma, os resultados obtidos neste estágio validam a premissa técnica e conceitual da plataforma, apontando um caminho promissor para ferramentas de RV em intervenções neuromotoras e cognitivas.

6. Conclusão

A realidade virtual e a gamificação mostram grande potencial para aprimorar o aprendizado e o desenvolvimento de habilidades cognitivas em crianças com transtornos do desenvolvimento. O estudo apresentou um protótipo de sistema imersivo em RV que integra testes neuropsicológicos tradicionais e jogos personalizados para avaliação e treinamento.

O protótipo demonstrou alta precisão na coleta de dados e na identificação de dificuldades. Embora haja limitações na reprodução de fatores sensoriais além da visão, o ambiente virtual foi eficaz em testes de memória e atividades de interação espacial. A experiência imersiva e gamificada aumentou o engajamento, e a coleta automatizada de dados é um avanço para profissionais da saúde.

Para validar o impacto clínico real do sistema, pesquisas futuras devem focar em estudos clínicos controlados e longitudinais com grupos maiores, avaliando melhorias em

habilidades cognitivas e comportamentais no ambiente real. A exploração de sensores neurofisiológicos, como o EEG, também pode aprimorar o monitoramento da carga cognitiva, otimizando futuras intervenções baseadas em dados.

Agradecimentos

Gostaríamos de expressar nosso profundo reconhecimento e gratidão ao Professor Doutor Guilherme Menezes Lage, coordenador do Núcleo de Neurociências do Movimento (NNeuroM) da EEEFTO/UFMG. A ideia central desta pesquisa originou-se do professor e de sua equipe, e seu apoio contínuo e expertise foram cruciais para o desenvolvimento e sucesso deste trabalho. Nossos agradecimentos também à Sara de Assis Leão, Doutoranda em Neurociências pela Universidade Federal de Minas Gerais, por sua valiosa colaboração nos permitindo a oportunidade de participação conjunta no Hackaton e insights com base em seu projeto de doutorado.

Referências

- Bavelier, e. a. (2019). *Cognitive Development: Gaming Your Way Out of Dyslexia?*, volume 23. Cell Press.
- Caggianese, G., Gallo, L., e Neroni, P. (2018). A blender-based 3d tool for supporting visual impairment simulations in accessible games. *Entertainment Computing*, 25:36–47.
- Cipresso, P., Giglioli, I. A., Raya, M. A., e Riva, G. (2018). The state of art of eeg-based brain-computer interfaces in virtual reality environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 27(1):102–117.
- Freina, L. e Ott, M. (2015). Literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *The International Scientific Conference eLearning and Software for Education*, 1:133–141.
- Ke, F. e Im, T. (2019). Virtual reality-based mathematics learning environment for children with learning difficulties. *Interactive Learning Environments*, 27(4):504–518.
- La Carretta, M. (2012). *Prossumidores nostálgicos: Reflexões sobre a obsolescência das mídias audiovisuais*. Tese de doutorado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG. Orientador: Prof. Dr. Luiz Nazario.
- Lee, J., Jeong, J., e Kim, H. (2020). Cognitive workload classification based on eeg during vr navigation tasks. *Sensors*, 20(22):6694.
- Parong, J. e Mayer, R. E. (2017). Learning biology through immersive virtual reality: Effects on learning gains and cognitive load. *Journal of Educational Psychology*, 110(6):785–797.
- Prasolova-Førland, E. e Divitini, M. (2003). Collaborative virtual environments for supporting learning communities: an experience of use. In *Proceedings of the Conference on Collaborative Virtual Environments*, Trondheim, Norway. Norwegian University of Science and Technology, ACM.
- Putze, F., Jarvis, P., e Schultz, T. (2010). A toolbox for eeg signal processing and online cognitive state estimation. In *Proceedings of the International Conference*

on Multimodal Interfaces and the Workshop on Machine Learning for Multimodal Interaction, pages 1–8. ACM.

Tieri, G., Morone, G., Paolucci, S., e Iosa, M. (2021). Low-cost immersive virtual reality for neurorehabilitation: A preliminary study on the effectiveness of the oculus quest system. *Applied Sciences*, 11(10):4528.

Tremmel, e. a. (2019). Estimating cognitive workload in an interactive virtual reality environment using eeg. *Frontiers in Human Neuroscience*.

Wright, W. G. (2014). Using virtual reality to augment perception, enhance sensorimotor adaptation, and change our minds. *Frontiers in Systems Neuroscience*.