

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE COMPUTAÇÃO

PEDRO IGOR DE SOUZA MALAQUIAS

**REALIDADE VIRTUAL E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA
PESSOAS COM TDAH: UM PROJETO BASEADO EM EXPERIÊNCIA**

Ouro Preto, MG
2025

PEDRO IGOR DE SOUZA MALAQUIAS

**REALIDADE VIRTUAL E TECNOLOGIAS EMERGENTES PARA PESSOAS COM
TDAH: UM PROJETO BASEADO EM EXPERIÊNCIA**

Monografia II apresentada ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Saul Emanuel Delabrida Silva

Ouro Preto, MG
2025



FOLHA DE APROVAÇÃO

Pedro Igor de Souza Malaquias

Realidade Virtual e Tecnologias Emergentes para Pessoas com TDAH: Um Projeto Baseado em Experiência

Monografia apresentada ao Curso de Ciência da Computação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Ciência da Computação

Aprovada em 26 de agosto de 2025

Membros da banca

Doutor - Saul Emanuel Delabrida Silva - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutora - Andrea Gomes Campos - Universidade Federal de Ouro Preto
Mestre - Mateus Nazário Coelho - Universidade Federal de Ouro Preto

Saul Emanuel Delabrida Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 02/09/2025



Documento assinado eletronicamente por **Saul Emanuel Delabrida Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 02/09/2025, às 15:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0971757** e o código CRC **9C4C3588**.

Agradecimentos

A elaboração deste trabalho só foi possível graças à contribuição de pessoas e instituições a quem expresso minha sincera gratidão.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Saul Delabrida, meu mais profundo agradecimento. Sua orientação, paciência e *incentivo* constante foram cruciais. Seu conhecimento e comprometimento foram a base para o desenvolvimento desta pesquisa.

Agradeço ao **Laboratório XR4GOOD** pelo suporte técnico e intelectual, que proporcionou acesso a equipamentos e um ambiente de troca de conhecimento.

À **FAPEMIG** (APQ-00890-23), pelo apoio financeiro que viabilizou a realização deste projeto.

À pedagoga Adriene Santanna e à psicóloga Christianne Miranda, que contribuíram de forma significativa para o desenvolvimento desta pesquisa. A Adriene, em especial, agradeço por sua orientação e conselhos valiosos ao longo de toda a minha formação.

Por fim, agradeço aos colegas e colaboradores. Suas sugestões, *feedbacks* e incentivo foram fundamentais para superar os momentos desafiadores e enriquecer este trabalho.

Resumo

O Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é um neurodesenvolvimento persistente que afeta a capacidade de atenção e controle de impulsos em crianças e adultos, impactando seu desempenho acadêmico, profissional e social. Embora as abordagens convencionais, como terapias comportamentais e medicamentos, sejam amplamente utilizadas, elas apresentam limitações, incluindo efeitos colaterais e a falta de eficácia a longo prazo em alguns casos. Diante disso, este trabalho explora o potencial da Realidade Virtual (RV) como uma ferramenta complementar para a avaliação e o aprimoramento da atenção em indivíduos com TDAH. O objetivo geral é desenvolver um *framework* em RV que integre tecnologias de ponta, como Eye Tracking e Interface Cérebro-Computador (BCI), para mensurar os níveis de atenção do usuário. Para isso, foi construído um protótipo de ambiente virtual, no qual o participante deve realizar uma tarefa simples em meio a estímulos distratores visuais e auditivos. Os dados de movimento ocular (Eye Tracking) e atividade cerebral (Eletroencefalograma - EEG) são capturados simultaneamente para fornecer uma análise correlacionada do foco visual e do estado cognitivo. Os resultados preliminares indicam que a abordagem é promissora, permitindo a identificação de padrões de atenção e distração em um ambiente controlado. O estudo também aborda desafios ergonômicos e de integração de hardware, além de propor direções futuras, como a incorporação de inteligência artificial para otimizar a análise de dados.

Palavras-chave: Realidade Virtual, TDAH, Eye Tracking, BCI, Interação Humano-Computador.

Abstract

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) is a persistent neurodevelopmental condition that affects attention span and impulse control in both children and adults, impacting their academic, professional, and social performance. Although conventional approaches, such as behavioral therapies and medication, are widely used, they present limitations, including side effects and a lack of long-term effectiveness in some cases. In this context, this work explores the potential of Virtual Reality (VR) as a complementary tool for assessing and enhancing attention in individuals with ADHD. The main objective is to develop a VR framework that integrates cutting-edge technologies, such as eye tracking and brain-computer interface (BCI), to measure user attention levels. For this purpose, a virtual environment prototype was built, in which participants perform a simple task while exposed to visual and auditory distractors. Eye movement data (eye tracking) and brain activity data (electroencephalography – EEG) are captured simultaneously to provide a correlated analysis of visual focus and cognitive state. Preliminary results indicate that this approach is promising, allowing the identification of attention and distraction patterns in a controlled environment. The study also addresses ergonomic and hardware integration challenges and proposes future directions, such as incorporating artificial intelligence to optimize data analysis.

Keywords: Virtual Reality, ADHD, Eye Tracking, BCI, Human-Computer Interaction.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 – Headset de Ivan Sutherland	7
Figura 2.2 – Headsets de realidade virtual	9
Figura 2.3 – Headsets Tethered de realidade virtual	11
Figura 2.4 – Haptx Gloves (HaptX Inc.,)	12
Figura 2.5 – Imagem de divulgação do Virtuix Omni One (Virtuix Inc.,)	13
Figura 2.6 – Visão geral do dispositivo <i>Unicorn Hybrid Black</i> , incluindo kit completo (a) e detalhe do amplificador (b).	14
Figura 2.7 – Cenas da “Virtual Classroom” para avaliação do Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade. Adaptado de (RIZZO et al., 2000)	16
Figura 2.8 – A Virtual Classroom. Adaptado de (ADAMS et al., 2009)	16
Figura 2.9 – Virtual Classroom com distrações. Adaptado de (YEH et al., 2012)	18
Figura 3.1 – Exibição dos dados provenientes do Eye Tracking em forma de gráfico de dispersão	23
Figura 3.2 – Sala virtual com as portas.	24
Figura 4.1 – Aplicação com a Árvore de Natal em Execução	25
Figura 4.2 – Histograma gerado a partir da leitura das ondas cerebrais selecionadas.	29
Figura 4.3 – Gráfico de correlação das ondas	30
Figura 4.4 – Integração entre realidade virtual e BCI	31

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Comparação entre <i>headsets</i> RV	13
Tabela 4.1 – Bandas EEG e suas características, adaptado de (AL-ANSI et al., 2023)	28

Lista de Abreviaturas e Siglas

APA	American Psychiatric Association
AR	Realidade Aumentada
BCI	Brain-Computer Interface
CPT	Continuous Performance Test
CRTs	Cathode Ray Tubes
CSV	Comma-separated values
DSM-V	Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais, Quinta Edição
EEG	Eletroencefalograma
fMRI	Ressonância Magnética Funcional
HMD	Head-mounted Display
IHC	Interação Humano-Computador
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
MKE	Milwaukee Young Adult Study
NPC	Non-Playable Character
RV	Realidade Virtual
SDKs	Software Development Kits
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
TDAH	Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade
XR	Realidade Estendida

Sumário

1	Introdução	1
1.1	Objetivos	1
1.2	Organização do Trabalho	2
2	Revisão Bibliográfica	3
2.1	Conceituação	3
2.1.1	Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade.	4
2.1.2	Realidade Virtual	5
2.1.2.1	Óculos de Realidade Virtual	6
2.1.2.2	Como desenvolver para Realidade Virtual?	8
2.1.3	Eye Tracking	13
2.1.4	Brain-Computer Interface	14
2.2	Trabalhos Relacionados	15
3	Materiais e Métodos	21
3.1	Geração de Dados Sintéticos de Eye Tracking	22
3.2	Protótipo	23
4	Resultados	25
4.1	Framework	25
4.1.1	Estímulos Distratores	25
4.1.2	Interação do Usuário com o Framework	26
4.2	Análise dos Dados	26
4.2.1	Dados de Eye Tracking	27
4.2.2	Dados EEG	28
4.3	Autoetnografia	31
4.4	Publicações Realizadas	32
5	Considerações Finais	34
5.1	Conclusão	34
5.2	Trabalhos Futuros	34
	Referências	36
	Apêndices	42
	APÊNDICE A Código de Geração de Dados Sintéticos de Eye Tracking	43

1 Introdução

O Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) afeta milhões de pessoas em todo o mundo, impactando diretamente crianças, adolescentes e adultos em suas rotinas diárias, ambientes educacionais e relações sociais. Embora a incidência seja maior em crianças, cerca de 2,5% dos adultos continuam apresentando sintomas, como dificuldades com planejamento, impulsividade e desatenção (ASSOCIATION, 2016). Além disso, profissionais de saúde, educadores e familiares enfrentam desafios significativos para apoiar essas pessoas, especialmente no desenvolvimento de habilidades cognitivas e comportamentais que atenuem os prejuízos causados pelo transtorno (CHATPREECHA; USANAVASIN, 2023).

O tratamento convencional para o TDAH inclui abordagens farmacológicas e comportamentais (BANAKAR; NAGANNA, 2025; ADAMOU et al., 2021). No entanto, os tratamentos farmacológicos podem apresentar efeitos colaterais como náuseas, ansiedade e insônia, além de terem sua eficácia reduzida a médio e longo prazo. Profissionais de saúde e educadores também enfrentam desafios na adaptação de estratégias individualizadas que sejam eficazes para o desenvolvimento das habilidades cognitivas e comportamentais de pessoas com TDAH (FIBERT; PEASGOOD; RELTON, 2019; SOUZA; GUEDES, 2021). Esse cenário tem motivado pesquisas sobre o uso de tecnologias emergentes como ferramentas complementares, capazes de oferecer experiências personalizadas e controladas, especialmente no contexto da aprendizagem.

A Realidade Virtual (RV) desponta como uma alternativa promissora nesse campo, por permitir a criação de ambientes tridimensionais interativos e imersivos, nos quais é possível reduzir estímulos distratores e incluir apenas aqueles essenciais à tarefa. Combinada a tecnologias como *Eye Tracking* (rastreamento ocular) e *Brain-Computer Interface* (BCI, ou interface cérebro-computador), a RV pode não apenas proporcionar experiências adaptadas às necessidades de cada usuário, mas também gerar dados objetivos sobre atenção e engajamento em tempo real (RIZZO et al., 2000; MÄKINEN et al., 2022; ADAMS et al., 2009; YEH et al., 2012).

Este trabalho parte de uma inquietação pessoal do autor, que, como pessoa com TDAH, buscou investigar se um ambiente virtual controlado poderia favorecer a concentração em relação a um ambiente físico tradicional. Essa perspectiva não apenas fundamenta a escolha do tema, mas também orienta decisões de design, implementação e avaliação do sistema.

1.1 Objetivos

O objetivo geral do trabalho é desenvolver um *framework* em Realidade Virtual voltado para a análise e mensuração da atenção em indivíduos com TDAH. Este *framework* integra tecnologias como *Eye Tracking* e BCI para apoiar e complementar estratégias existentes na gestão

do transtorno.

Os objetivos específicos da pesquisa incluem:

- Propor um *framework* para o uso de óculos de Realidade Virtual que integre *Eye Tracking* e BCI para a captação de dados sobre a atenção do usuário – Este objetivo pode ser encontrado na Seção 4.1.;
- Propor diretrizes sobre quais características sistemas de RV precisam ter para auxiliar no processo de aprendizagem de pessoas com TDAH ;
- Construir uma prova de conceito de um ambiente imersivo para realização de tarefas com a possibilidade de promover concentração ;
- Incluir estímulos distratores visuais e auditivos no ambiente virtual para avaliar a resposta dos usuários a distrações e analisar a interação do usuário com esses estímulos – Este objetivo pode ser encontrado na Seção 4.1.;
- Relatar, por meio de uma abordagem autoetnográfica, o processo de desenvolvimento do trabalho a partir da perspectiva de uma pessoa com TDAH criando uma tecnologia para pessoas com TDAH – Este objetivo pode ser encontrado na Seção 4.3.

O desenvolvimento do *framework* resultou em produções acadêmicas que reforçam a relevância da pesquisa e sua contribuição para o campo da Realidade Virtual aplicada ao TDAH. Esses desdobramentos serão apresentados ao longo deste trabalho, evidenciando como a proposta se conecta a questões práticas e teóricas na área.

1.2 Organização do Trabalho

Este documento está estruturado em cinco capítulos. No Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica, são apresentados os conceitos fundamentais sobre TDAH, Realidade Virtual, *Eye Tracking* e interface cérebro-computador (BCI), bem como estudos relacionados que exploram o uso dessas tecnologias na análise da atenção. O Capítulo 3 – Materiais e Métodos descreve o processo de desenvolvimento do *framework* proposto, detalhando o ambiente virtual, os dispositivos utilizados e a integração das tecnologias. O Capítulo 4 – Resultados e Discussão apresenta os resultados obtidos, incluindo os testes realizados com o protótipo, análises de desempenho e uma reflexão autoetnográfica sobre o processo de desenvolvimento a partir da perspectiva do autor, pessoa com TDAH criando uma solução para o mesmo público. Por fim, o Capítulo 5 – Considerações Finais sintetiza as principais conclusões, destaca as contribuições desta pesquisa e propõe direções para trabalhos futuros.

2 Revisão Bibliográfica

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que sustentam este estudo, fornecendo uma base para a compreensão do problema de pesquisa e das tecnologias utilizadas. A revisão bibliográfica é organizada em duas partes principais: conceituação e trabalhos relacionados.

Na seção de conceituação, introduzimos os principais temas deste trabalho. Primeiramente, discute-se o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade, suas características e impacto no cotidiano dos indivíduos diagnosticados. Em seguida, são apresentados os conceitos de Realidade Virtual e óculos de RV, destacando seu funcionamento e aplicações. Também são explorados os aspectos técnicos do desenvolvimento para Realidade Virtual, bem como tecnologias avançadas como *Eye Tracking* e Interface Cérebro-Computador, que ampliam as possibilidades de interação e análise na RV.

A seção de trabalhos relacionados examina estudos acadêmicos e pesquisas anteriores que investigam a interseção entre TDAH, Realidade Virtual e interface cérebro-computador. O objetivo é identificar abordagens já exploradas na literatura, destacar contribuições relevantes e apontar lacunas que este estudo busca preencher.

A fundamentação teórica apresentada neste capítulo permite contextualizar o problema de pesquisa, compreender as soluções existentes e embasar o desenvolvimento do protótipo proposto.

2.1 Conceituação

Esta seção apresenta os conceitos fundamentais que embasam este trabalho, fornecendo uma visão geral dos principais temas envolvidos. Primeiramente, é abordado o Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade, explorando suas características, impactos e desafios no cotidiano. Em seguida, são introduzidos os fundamentos da Realidade Virtual, incluindo sua definição, aplicações e o papel dos óculos de Realidade Virtual na criação de experiências imersivas.

Além disso, são discutidos aspectos técnicos essenciais para o desenvolvimento de aplicações em Realidade Virtual, abordando métodos e ferramentas utilizadas para criar ambientes interativos. Por fim, são apresentados dois recursos tecnológicos avançados que ampliam a interatividade e a análise do comportamento do usuário: o *Eye Tracking*, que permite identificar padrões visuais, e a Interface Cérebro-Computador, que possibilita a comunicação direta entre o cérebro e dispositivos digitais

2.1.1 Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade.

Segundo a APA (*American Psychiatric Association*), Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) é um padrão persistente de desatenção e/ou hiperatividade-impulsividade que interfere no funcionamento ou no desenvolvimento (ASSOCIATION, 2016). A falta de atenção se manifesta como dificuldade de manter o foco, desorganização, distração em tarefas e falta de persistência (ASSOCIATION, 2016). A hiperatividade se refere a atividade motora excessiva como batucar ou conversar em excesso, inquietude ou esgotamento com os outros com sua atividade (ASSOCIATION, 2016). E, por fim, a impulsividade é caracterizado pelo desejo por recompensas imediatas ou a incapacidade de postergar recompensas e executar ações premeditadas (ASSOCIATION, 2016).

O TDAH tem ocorrência de 5.9% em crianças e de 2.5% em adultos (ASSOCIATION, 2016). Com a predominância dos casos no público infantil, por apresentar uma atividade motora excessiva no início na infância. Durante o ciclo escolar, principalmente no ensino fundamental, fica evidente a desatenção, tornando prejudicial à aprendizagem (ASSOCIATION, 2016). Como 2.5% dos adultos apresentam o sintomas. A menor incidência em adultos indica que os sintomas se tornam menos evidentes na adolescência em diante como a hiperatividade motora, ainda que prevaleçam dificuldades com planejamento, inquietude, desatenção e impulsividade (ASSOCIATION, 2016).

O TDAH só pode ser diagnosticado por um médico habilitado, como um Neurologista ou um Psiquiatra. E não pode ser diagnosticado apenas por testes neuropsicológicos ou imagens do cérebro. Para o diagnóstico correto do transtorno é requerido que os sintomas estejam presentes em vários ambientes, persista ao menos 6 meses, sintomas que causam prejuízos na vida, alguns sintomas que ocorrem desde a infância (FARAONE et al., 2021).

Os tratamentos comportamentais e farmacológicos são os mais indicados pelos médicos e terapeutas (JENSEN et al., 2005). Os tratamentos farmacológicos são geralmente direcionados aos meses iniciais do tratamento (FIBERT; PEASGOOD; RELTON, 2019), por ser uma alternativa de baixo custo e com resultados rápidos (JENSEN et al., 2005; PAGE et al., 2016). É possível a ocorrência de efeitos colaterais como náuseas, ansiedade, redução do apetite, falta de sono, e redução no resultado a médio e longo prazo (FIBERT; PEASGOOD; RELTON, 2019). Vale destacar que os medicamentos para o TDAH são usados indiscriminadamente por vários alunos para poderem ficar acordados e estudar a noite, levando assim ao aumento expressivo do valor dos medicamentos (SOUZA; GUEDES, 2021).

Como alternativa aos medicamentos há tratamentos comportamentais que muitas vezes são questionados pela percepção de pouca eficácia no tratamento do TDAH. E são geralmente aplicados por terapeutas ocupacionais, e psicólogos, ou aplicados em conjunto (ADAMOU et al., 2021; BANAKAR; NAGANNA, 2025). Profissionais de diferentes áreas já utilizam abordagens multidisciplinares, com o auxílio dos fármacos e intervenções comportamentais, a fim de buscar um equilíbrio. Pois como se sabe, os tratamentos não são unanimidades entre os profissionais (ADAMOU et al., 2021).

Como a incidência do transtorno é maior nas crianças do que nos adultos, maioria das pesquisas acadêmicas para este público é voltada ao grupo infantil, pois evidenciam mais sinais de TDAH. Na maioria das pessoas com TDAH, os sinais ficam menos claros na vida adulta, persistindo dificuldades com planejamento, inquietude, desatenção e impulsividade (ASSOCIATION, 2016). Um estudo denominado Milwaukee young Adult Study (MKE) realizado nos Estados Unidos da América constatou que alunos com déficit de atenção na universidade repetiam de ano no ensino médio com mais frequência em comparação àqueles sem o transtorno (42% x 13%), e os que chegavam na faculdade (77%), somente 22% das pessoas com TDAH finalizaram a graduação (BARKLEY; FISCHER, 2016; KURIYAN et al., 2012).

O histórico do TDAH é marcado por diversas denominações, desde termos pejorativos como "perturbação de controle moral" até a definição atual no Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais (DSM-V). O primeiro registro formal da condição remonta ao século XVIII, com o médico Alexander Crichton descrevendo a "desatenção patológica" em um de seus livros sobre doenças mentais (CARVALHO et al., 2022). No século seguinte, o psiquiatra Heinrich Hoffmann publicou o livro infantil "João Felpudo", cujas histórias destacam comportamentos que são hoje reconhecidos como características do transtorno (CARVALHO et al., 2022; REZENDE, 2016).

2.1.2 Realidade Virtual

Realidade Virtual (RV) é uma ferramenta multimídia capaz de simular, por meio de recursos computacionais, ambientes tridimensionais que podem reproduzir cenários reais para o usuário (ROSSI, 2017). A RV pode ser definida, segundo Milgram (MILGRAM et al., 1995), como um ambiente no qual o participante está totalmente imerso em um mundo sintético criado por computador, onde estímulos visuais, auditivos e hápticos são controlados para criar uma experiência imersiva (SKARBEZ; SMITH; WHITTON, 2021).

Esse ambiente pode ou não imitar propriedades de um mundo real, mas também pode ir além das leis da realidade física, permitindo que a gravidade, o tempo ou as propriedades materiais sejam alterados ou inexistentes (MILGRAM et al., 1995; SKARBEZ; SMITH; WHITTON, 2021). A tecnologia em RV implementa um conjunto de gráficos computacionais gerados em tempo real com dispositivos sonoros e outras tecnologias sensoriais para aprimorar a imersão e a experiência do usuário (ROSSI, 2017; SKARBEZ; SMITH; WHITTON, 2021). Devido à sua evolução,

as tecnologias de RV têm se tornado cada vez mais versáteis e adaptáveis, incorporando não apenas dispositivos da área de entretenimento, mas também ferramentas educacionais e médicas (MÄKINEN et al., 2022).

2.1.2.1 Óculos de Realidade Virtual

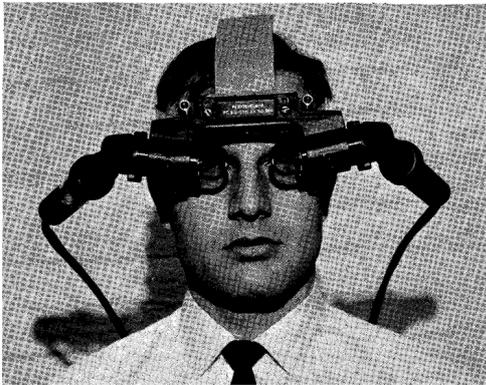
A ideia de um equipamento para vivenciar outras realidades não é nova e remonta a pelo menos cinco décadas. Em 1965, Ivan Sutherland publica o artigo "The Ultimate Display"(SUTHERLAND et al., 1965), no qual ele apresenta sua visão de um ambiente virtual poderia criar objetos e experiências indistinguíveis da realidade, onde ele fala de um display definitivo.

Fazendo uma analogia com o conto infantil de Alice no País das Maravilhas, ele diz que seria um espelho para um País das Maravilhas da matemática (SUTHERLAND et al., 1965), para apresentar as suas ideias, como o computador poderia criar um espelho mágico para explorar realidades alternativas e que displays permitiriam interações naturais com o mundo digital indo além de meros gráficos (SUTHERLAND et al., 1965), que estavam disponíveis na época que esse artigo foi escrito.

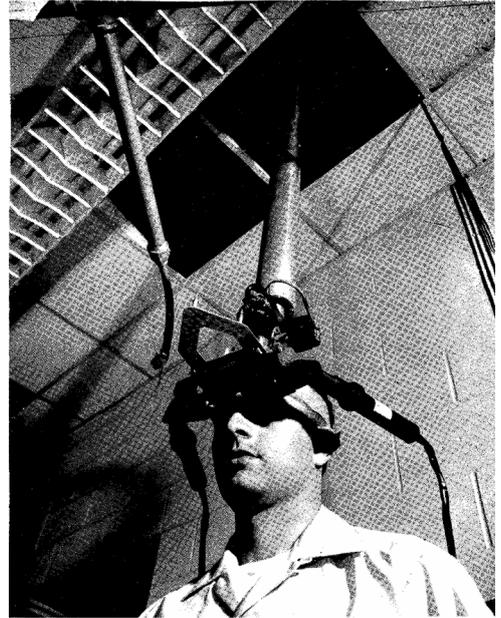
No campo de IHC, Sutherland também sugeriu que dispositivos como canetas óticas, joysticks e reconhecimento de voz podem aprimorar a interação, além do teclado à época (SUTHERLAND et al., 1965). Por fim, ele apresenta o conceito de "**Ultimate Display**", que imagina um sistema onde a realidade virtual se torna indistinguível do mundo físico (SUTHERLAND et al., 1965).

Três anos depois, Sutherland publicou outro artigo com o seguinte título "A head-mounted three dimensional display"(SUTHERLAND, 1968), onde é descrito um dos primeiros dispositivos de realidade virtual, um *head-mounted display* (HMD) com rastreamento de movimento para exibir gráficos 3D.

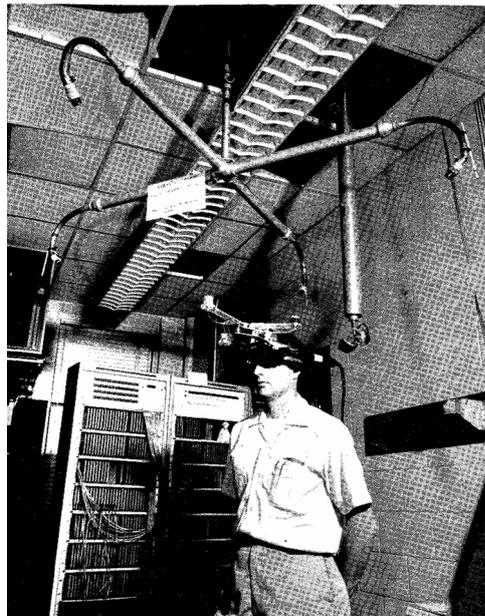
Suas principais ideias incluíam: um sistema exibe imagens tridimensionais que mudam de perspectiva conforme o usuário move a cabeça e baseia-se no efeito de profundidade cinética, onde mudanças de perspectiva criam uma forte ilusão de 3D (SUTHERLAND, 1968). Para a construção do dispositivo foi usado um capacete com duas telas (*mini Cathode Ray Tubes*) projetando imagens estereoscópicas (Figura 2.1a), um rastreador de cabeça mecânico e ultrassônico para ajustar a perspectiva em tempo real (Figura 2.1b) e um sistema de multiplicação de matrizes para calcular transformações tridimensionais rapidamente.



(a) Óptica de visor montado na cabeça com CRTs em miniatura (SUTHERLAND, 1968).



(b) O sensor de posição da cabeça ultrassônico em uso (SUTHERLAND, 1968)



(c) O sensor mecânico de posição da cabeça em uso (SUTHERLAND, 1968)

Figura 2.1 – Headset de Ivan Sutherland

Com relação à tecnologia disponível na época, o sistema era limitado a gráficos *wire-frame*, que são representações tridimensionais de um objeto formada somente por arestas e sem preenchimento de superfícies (SUTHERLAND, 1968; CELES; ABRAHAM, 2010; BLINDER; NISHITSUJI; SCHELKENS, 2021). O rastreamento de cabeça era impreciso e difícil de calibrar e o processamento era feito por hardware dedicado, pois os computadores da época eram muito lentos (SUTHERLAND, 1968). Mesmo com gráficos primitivos, os usuários rapidamente se acostumavam com o ambiente virtual, onde o sistema permitia visualizar objetos em diferentes

ângulos (SUTHERLAND, 1968).

O impacto destes artigos foram grandes, que influenciaram o desenvolvimento de simuladores de voo, jogos de RV e treinamentos militares, demonstrando a importância do rastreamento de cabeça e gráficos em 3D para a criação de uma experiência imersiva. E também inspiraram tecnologias como o *Oculus Rift*, *HTC Vive* e *Meta Quest* por exemplo, que são tecnologias atuais.

Os óculos de RV atuais podem nos proporcionar uma experiência imersiva, com diversas empresas como Apple, Samsung, HTC, Google, se dedicando a fabricar óculos com melhores tecnologias, com mais funcionalidades e mais acessível ao grande público com preços partindo de US\$299.99 ¹.

Hoje em dia, como citado a cima, temos diversos fabricantes no mercado, dos quais descreveremos alguns: o *Meta Quest 3* (Figura 2.2a) é um óculos de RV desenvolvido pela Meta (antiga Facebook), onde é possível ter uma imersão completa, colocando o usuário dentro de aplicações, jogos, ver filmes. A sua vantagem é um dispositivo independente, o que significa que ele não depende de uma máquina externa para funcionar; O *Meta Quest Pro* (Figura 2.2b), tem as mesmas características do *Meta Quest 3* com o acréscimo de alguns sensores a mais embutidos, como um rastreador ocular; O *Apple Vision Pro* (Figura 2.2d) é um dispositivo de realidade virtual e aumentada que combina conteúdo digital com o espaço físico do usuário. Ele permite que o usuário navegue usando os olhos, as mãos e a voz; o *HTC Vive* (Figura 2.2c) é um óculos de RV, que ao contrário dos demais, não tem um sistema operacional próprio, dependendo de outra máquina para funcionar, também possui fios conectando o headset ao computador, podendo se tornar um inconveniente ao longo prazo; no início de 2025, a *Samsung* anunciou um óculos no molde do *Apple Vision Pro*, em parceria com a *Google* que fornecera o Sistema Operacional, no caso o *Android XR* e a *Qualcomm* que fornecera o *Chipset*.

2.1.2.2 Como desenvolver para Realidade Virtual?

O desenvolvimento para Realidade Virtual tem se expandido significativamente nos últimos anos, impulsionado pelo avanço de dispositivos acessíveis e plataformas robustas (AL-ANSI et al., 2023). Criar experiências imersivas envolve uma combinação de programação, design de interface, modelagem 3D e otimização para garantir um ambiente interativo e responsivo para os usuários (AL-ANSI et al., 2023).

Na época do desenvolvimento do “**A Head-Mounted Three Dimensional Display**” de Ivan Sutherland (SUTHERLAND, 1968), não existia plataforma específicas para desenvolvimento nestes equipamentos, o sistema utilizava multiplicação de matrizes para renderizar gráficos *wireframe* (SUTHERLAND, 1968), pela limitação de *hardware* disponíveis de década de 1960.

As décadas foram passando e chegando nos tempos presente, as tecnologias foram aprimoradas, *hardwares* melhores, como placas de vídeo dedicadas e *softwares* feita justamente

¹ Preço de US\$299.99 referente ao Meta Quest 3S, consultado em fevereiro de 2025 no site da Meta (EUA). Preços podem variar.



(a) Meta Quest 3 (Meta Platforms, Inc., a)



(b) Meta Quest Pro (Meta Platforms, Inc., b)



(c) HTC Vive (HTC Corporation,)



(d) Apple Vision Pro (Apple Inc.,)

Figura 2.2 – Headsets de realidade virtual

para o desenvolvimento para RV.

O desenvolvimento para RV pode ser feito utilizando diferentes plataformas e *engines* (motores gráficos) que facilitam a criação dos ambientes gráfico (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023).

Uma *Engine* é um Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) que permite o desenvolvimento de jogos, principalmente (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023; MORSE, 2021), e tem sido bastante utilizada para o desenvolvimento de aplicações em Realidade Estendida (XR), o que inclui RV e Realidade Aumentada(AR) (CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023), facilitando a criação de experiências imersivas e visuais (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023), e também a reutilização de código e ativos de jogo (*game assets*)(ANDRADE, 2015).

A escolha da plataforma e das ferramentas de desenvolvimento para Realidade Virtual deve considerar diversos fatores, como o hardware disponível, o público-alvo da aplicação, a curva de aprendizado das ferramentas e a otimização do desempenho. Algumas das *engines* mais populares são:

- **Unity3D:** que é uma plataforma de desenvolvimento em tempo real que consiste em um mecanismo de renderização e física, bem como uma interface gráfica (JULIANI et al., 2020), também sendo amplamente utilizada em desenvolvimento de jogos e aplicações 3D (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023).
- **Unreal Engine:** é uma *engine* desenvolvida pela empresa Epic Games, para a criação de ambientes 3D, e é considerada uma das mais avançadas disponíveis para renderização realista;
- **Godot:** é uma *engine* de jogo gratuito e de código aberto, que permite criar jogos 2D e 3D.

As plataformas citadas acima oferecem um ambiente robusto e flexível para a criação de experiências imersivas, enquanto bibliotecas e SDKs específicos, como OpenXR que é um aberto desenvolvido para unificar o suporte a diferentes dispositivos de RV e RA, permitindo que aplicações funcionem em várias plataformas sem alterações significativas no código e SteamVR ferramenta da Valve para integrar aplicações de RV com o SteamVR, oferecendo suporte a diversos headsets, como HTC Vive (Figura 2.2c) e até dispositivos compatíveis com OpenXR, garantem compatibilidade com diferentes dispositivos.

Além das *engines*, é necessário considerar:

- **Linguagem de Programação:** C# compatível com o Unity, C++ compatível com o Unreal Engine, GDScript compatível com o Godot;
- **Bibliotecas e Frameworks:** OpenXR, WebXR, SteamVR SDK, Oculus SDK, Google VR SDK;
- **Modelagem e Animação:** Blender, Maya, 3ds Max.

O desenvolvimento de aplicações de RV exige um planejamento cuidadoso e a escolha correta das tecnologias, garantindo que a experiência final seja envolvente, eficiente e acessível para o usuário. Conforme a área continua a evoluir, novas ferramentas e *frameworks* surgem, ampliando as possibilidades e permitindo inovações cada vez mais impactantes no campo da Realidade Virtual.

Por esse motivo, escolhemos a plataforma de desenvolvimento Unity3D. O Unity3D é uma das *engines* mais populares e flexíveis do mercado, suportando mais de 15 plataformas (ANDRADE, 2015), no que está incluso, computadores, *smartphones*, consoles, aplicações web, televisores. Pelo mesmo motivo vindo sendo utilizado fora do setor de jogos (CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023; ANDRADE, 2015), sendo mais acessível e com curva de aprendizado menor (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023). Também é a *engine* mais utilizada em aplicações de RV (CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023), e uma grande gama de dispositivos de RV (CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar,

2023), e permite a integração com inúmeras bibliotecas (ANDRADE, 2015; CORONADO; ITADERA; Ramirez-Alpizar, 2023), como citado anteriormente.

O desenvolvimento para RV requer hardware especializado para garantir uma experiência imersiva e interativa. Esses dispositivos variam desde *headsets* autônomos e conectados a computadores até sensores de rastreamento e controladores hápticos, cada um desempenhando um papel essencial na criação de ambientes virtuais responsivos e realistas. A escolha do hardware adequado depende do objetivo da aplicação, do orçamento e da plataforma de desenvolvimento.

Como falado na seção 2.1.2.1, os *headsets* de RV são a peça central da experiência imersiva. Eles fornecem visão estereoscópica, permitindo ao usuário sentir profundidade e presença no ambiente virtual. Esses dispositivos podem ser classificados em três categorias principais:

- **Headsets Standalone:** Funcionam sem a necessidade de um PC ou console, possuindo processador e armazenamento internos. São mais acessíveis e portáteis, mas com limitações gráficas. Exemplo: Meta Quest 3 e Pro (Figuras 2.2a e 2.2b), Apple Vision Pro (Figura 2.2d);
- **Headsets Tethered:** Dependem de um computador potente ou console para processar gráficos avançados, garantindo maior fidelidade visual e desempenho. Exemplo: HTC Vive (Figura 2.2), Valve Index (Figura 2.3a) e *PlayStation VR* (Figura 2.3b).



(a) Valve Index (Valve Corporation,)



(b) PlayStation VR2 (Sony Interactive Entertainment,)

Figura 2.3 – Headsets Tethered de realidade virtual

Para proporcionar interatividade no ambiente virtual, os headsets são acompanhados por **controladores e sensores de rastreamento**, que permitem captar os movimentos do usuário, como:

- **Controladores de Movimento:** Como os *Meta Touch Controllers* e os *Valve Index Controllers*, permitem interação natural e precisa com objetos no ambiente virtual.
- **Rastreamento Inside-Out:** Utiliza câmeras embutidas no próprio headset para mapear o ambiente sem sensores externos, como o *Meta Quest 3*, *PlayStation VR*.
- **Rastreamento Outside-In:** Requer sensores externos, como as Base Stations do Valve Index, para um rastreamento mais preciso da posição do usuário.
- **Luvax Hápticas:** Tecnologias emergentes, como as HaptX Gloves (Figura 2.4), simulam sensações táteis para maior imersão.



Figura 2.4 – Haptx Gloves (HaptX Inc.,)

Além dos headsets e controladores, diversos dispositivos podem ser integrados para aprimorar a experiência de RV:

- **Eye Tracking:** Permite ajustar gráficos com renderização foveada, melhorar a interação e estudar o comportamento do usuário, será abordada com mais detalhes na seção 2.1.3. Presente em headsets como *HTC Vive Pro Eye* e *PlayStation VR2*.
- **Sensores Corporais e Esteiras VR:** Dispositivos como *Virtuix Omni One* (Figura 2.5) permitem movimentação física dentro da RV;
- **Fones de Ouvido Espaciais:** Oferecem áudio tridimensional, aprimorando a sensação de presença. O *Valve Index* e o *PlayStation VR* possuem essa tecnologia integrada.

Dispositivo	Categoria do Headset	SDKs / APIs suportadas	Engines Compartíveis	Linguagem Usadas	Preço (USD) ²
Meta Quest Pro	Standalone	Meta XR, Open XR, Steam VR	Unity3D, Unreal Engine, Godot	C++, C#, Java, Kotlin	US\$ 1.499,99
Meta Quest 3	Standalone	Meta XR, Open XR, Steam VR	Unity3D, Unreal Engine, Godot	C++, C#, Java, Kotlin	US\$ 499,99
Meta Quest 2	Standalone	Meta XR, Open XR, Steam VR	Unity3D, Unreal Engine, Godot	C++, C#, Java, Kotlin	US\$ 299,00
HTC Vive	Tethered	SteamVR SDK, OpenXR	Unity3D, Unreal Engine, Godot	C#	US\$ 799,00
Apple Vision Pro	Standalone	Reality Kit, AR Kit	Unity3D, Xcode	Swift	US\$ 3.499,00
PlayStation VR2	Tethered	Playstation SDK	Unity3D, Unreal Engine	C++, C	US\$ 549,99
Valve Index	Tethered	SteamVR	Unity3D, Unreal Engine, Godot	C++, C, C#	US\$ 999,00

Tabela 2.1 – Comparação entre *headsets* RV

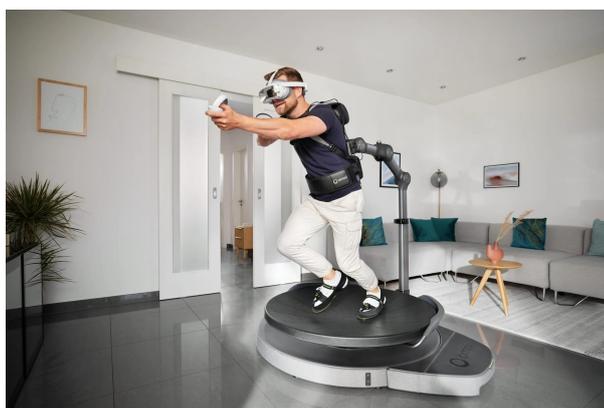


Figura 2.5 – Imagem de divulgação do Virtuix Omni One (Virtuix Inc.,)

A diversidade de dispositivos de Realidade Virtual exige que os desenvolvedores escolham o hardware adequado para suas aplicações. Desde headsets *standalone*, como o *Meta Quest 2*, até dispositivos mais avançados para PC, como o *Valve Index*, cada equipamento apresenta características específicas que impactam a experiência do usuário. Além disso, tecnologias complementares, como Eye Tracking e sensores hápticos, ampliam as possibilidades de interação, tornando a imersão mais realista. Com a constante evolução do mercado, novos dispositivos e melhorias tecnológicas continuarão a redefinir os padrões da RV, tornando-a cada vez mais acessível e sofisticada.

2.1.3 Eye Tracking

O *Eye Tracking* (Rastreamento Ocular) é uma tecnologia que permite medir e analisar os movimentos dos olhos de um indivíduo, registrando o ponto exato de fixação do olhar em relação à posição da cabeça (NOVÁK et al., 2024). Esse processo ocorre por meio de sensores especializados que capturam os deslocamentos oculares e traduzem essas informações em dados visuais quantificáveis. Segundo (GARBIN et al., 2020), a tecnologia tem se tornado cada vez mais relevante em diversas áreas, incluindo a pesquisa em interação humano-computador, neurociência e realidade virtual.

No contexto da RV, o *Eye Tracking* desempenha um papel crucial na otimização da experiência. Uma das aplicações mais relevantes é a renderização foveada (*foveated rendering*), uma técnica que reduz a carga computacional ao renderizar em alta definição somente a região da cena onde o olhar do usuário está focado, enquanto as áreas periféricas são exibidas com menor

resolução (OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2020). Essa abordagem busca replicar o funcionamento do olho humano, que possui uma região central de maior acuidade visual (a fóvea), enquanto a visão periférica apresenta menor nitidez. O uso do rastreamento ocular permite identificar a posição do olhar em tempo real, ajustando dinamicamente a qualidade da imagem para melhorar a imersão sem comprometer o desempenho do sistema.

Além da renderização foveada, o *Eye Tracking* também pode ser utilizado para aprimorar a interação com ambientes virtuais, permitindo que os usuários controlem menus, objetos e ações dentro da RV apenas com o olhar. Essa funcionalidade pode ser especialmente útil para pessoas com limitações motoras, tornando a experiência mais acessível e intuitiva (GARBIN et al., 2020).

Contudo, apesar de suas vantagens, o *Eye Tracking* ainda enfrenta desafios técnicos e limitações. A precisão do rastreamento pode ser influenciada por fatores como variações na iluminação ambiente, diferenças fisiológicas entre usuários e a velocidade dos movimentos oculares. Além disso, equipamentos que utilizam essa tecnologia tendem a ser mais caros e exigem calibração frequente para manter a acurácia dos dados coletados (OLIVEIRA; TEIXEIRA, 2020).

2.1.4 Brain-Computer Interface

A evolução das tecnologias neurocientíficas possibilitou o desenvolvimento das Interface Cérebro-Computador (*Brain-Computer Interface – BCI*), como pode ser visto na Figura 2.6, sistemas que permitem a comunicação direta entre o cérebro humano e dispositivos computacionais. Esses sistemas captam sinais neurais e os convertem em comandos acionáveis, possibilitando que indivíduos interajam com máquinas sem a necessidade de movimentação física (KOBBER; NEUPER, 2012).



Figura 2.6 – Visão geral do dispositivo *Unicorn Hybrid Black*, incluindo kit completo (a) e detalhe do amplificador (b).

As primeiras pesquisas nessa área remontam à década de 1970, quando foram desenvolvidos os primeiros dispositivos para capturar sinais cerebrais e utilizá-los para controlar

interfaces externas (KOBBER; NEUPER, 2012). Desde então, as tecnologias de BCI evoluíram significativamente, permitindo aplicações mais sofisticadas em áreas como reabilitação médica, acessibilidade e interação humano-computador (N; N, 2020).

Os sinais cerebrais podem ser captados por métodos diretos e indiretos. O Eletroencefalograma (EEG) é um dos métodos mais comuns, registrando a atividade elétrica do cérebro por meio de eletrodos posicionados no couro cabeludo (YADAV; YADAV; VEER, 2020). A Ressonância Magnética Funcional (fMRI), por sua vez, analisa indiretamente as variações metabólicas associadas ao consumo de oxigênio no cérebro, permitindo mapear padrões de atividade neuronal (YADAV; YADAV; VEER, 2020; N; N, 2020).

As BCIs podem ser classificadas em invasivas e não invasivas. As interfaces invasivas envolvem implantes cerebrais que captam sinais diretamente da atividade neural, garantindo maior precisão, mas exigindo procedimentos cirúrgicos complexos (GU et al., 2021). Por outro lado, as BCIs não invasivas utilizam sensores externos para captar os sinais cerebrais, sendo mais seguras e acessíveis, porém menos precisas (N; N, 2020).

No contexto da Realidade Virtual, as BCIs têm sido estudadas como uma ferramenta para aprimorar a experiência do usuário e permitir interações mais naturais com o ambiente digital. Pesquisas indicam que essas interfaces podem ser utilizadas para monitorar o estado cognitivo e emocional dos usuários durante a imersão, possibilitando adaptações dinâmicas na experiência com base na atividade cerebral.

Apesar do avanço tecnológico, desafios ainda persistem na aplicação prática das BCIs. A captação de sinais cerebrais ainda é suscetível a ruídos e interferências externas, fatores que podem comprometer a precisão dos sistemas (N; N, 2020). Além disso, o alto custo dos equipamentos e a necessidade de calibração individualizada dificultam a ampla adoção da tecnologia em aplicações comerciais (N; N, 2020).

2.2 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, serão apresentadas trabalhos que investigam o uso de tecnologias imersivas, como a Realidade virtual, em intervenções para o TDAH. Estudos recentes evidenciam o benefício dessas ferramentas, destacando seu impacto no tratamento e no desenvolvimento de habilidades cognitivas e sociais.

No início da década de 2000, Rizzo et al. (RIZZO et al., 2000) publicaram um artigo, publicou um artigo intitulado: “The virtual classroom: a virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits”, em que discutia as aplicabilidades de um sistema de Realidade Virtual para avaliação e reabilitação de crianças diagnosticadas com TDAH, simulando um ambiente imersivo uma sala de aula tradicional, como mostrado na Figura 2.7, isto é, contendo filas com mesas e cadeiras, quadro-negro, um professor, permitindo a manipulação do

ambiente colocando distrações clássicas de uma sala de aula, auditivas e visuais, como barulhos de alunos espirrando ou falando, aviões de papel voando na sala de aula.

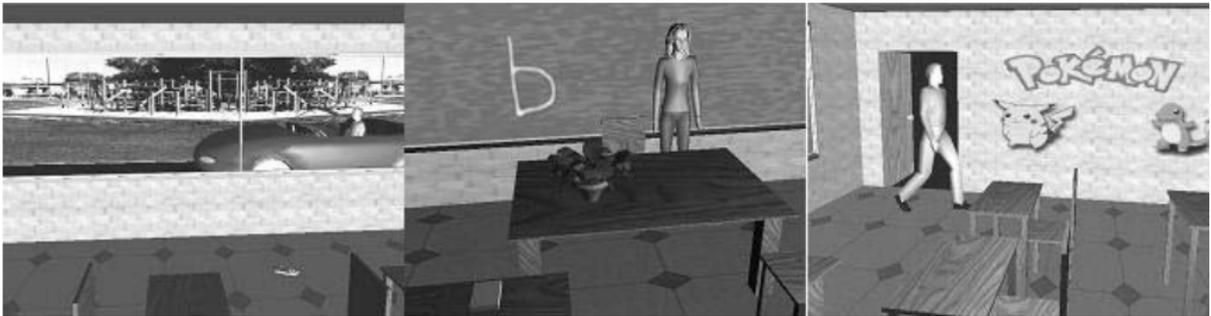


Figura 2.7 – Cenas da “Virtual Classroom” para avaliação do Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade. Adaptado de (RIZZO et al., 2000)

Adams et al. (ADAMS et al., 2009), em sua publicação "Distractibility in Attention/ Deficit/ Hyperactivity Disorder (ADHD): The Virtual Reality Classroom", desenvolveram as ideias do (RIZZO et al., 2000), trazendo alguns avanços, Figura 2.8, das quais, usando o **Virtual Classroom**, o qual é um ambiente em RV para compreender as dificuldades de atenção em crianças com TDAH, comparado com testes tradicionais como o *Continuous Performance Test (CPT)*. O CPT é um teste comumente utilizado para o diagnóstico do TDAH, examinando por meio de estímulos visuais e/ou auditivos por um certo período de tempo (LEV et al., 2022).



Figura 2.8 – A Virtual Classroom. Adaptado de (ADAMS et al., 2009)

E as crianças que participaram deste estudo tiveram maior dificuldade no ambiente virtual, especialmente sob as distrações em sua capacidade de atenção (ADAMS et al., 2009). Também a aplicação desenvolvida mostrou maior acurácia em diferenciar crianças com TDAH daquelas do grupo de controle (sem o transtorno) (ADAMS et al., 2009). Concluindo também que ambientes em RV podem ser mais eficazes que testes tradicionais, devido à sua capacidade de simular condições do mundo real. (ADAMS et al., 2009).

Os autores (RIZZO et al., 2000) e (ADAMS et al., 2009) utilizam o "Virtual Classroom" como ferramenta central, mas (ADAMS et al., 2009) ampliam a análise, adicionando comparações entre RV e métodos tradicionais e incluindo métricas mais detalhadas sobre erros e reações.

O trabalho de (RIZZO et al., 2000) introduz o conceito de validade ecológica, o qual é a capacidade de um experimento, teste ou estudo refletir situações da realidade, em avaliações de atenção, sugerindo que ambientes simulados podem replicar melhor os desafios da realidade. (ADAMS et al., 2009) confirmam e expandem essa ideia, mostrando que a RV oferece distrações controladas e úteis para diferenciar crianças com TDAH.

Enquanto (RIZZO et al., 2000) propõe o "Virtual Classroom" como um método experimental promissor, (ADAMS et al., 2009) avançam para um estudo clínico mais estruturado, explorando como essa ferramenta pode ser usada para diagnóstico e reabilitação.

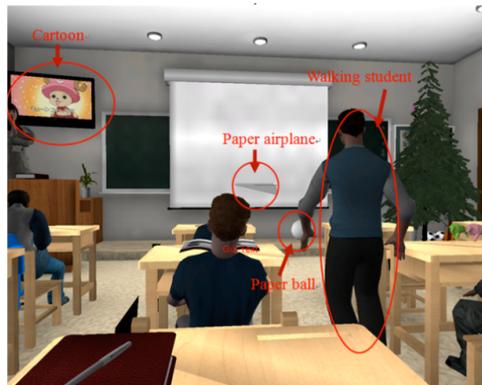
O artigo "**An Innovative ADHD Assessment System Using Virtual Reality**" (YEH et al., 2012) apresenta um sistema de avaliação de TDAH baseado em RV, também expandindo e aplicando conceitos do "**Virtual Classroom**" introduzido por (RIZZO et al., 2000), que vão além do teste CPT. Tendo como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema de avaliação para TDAH utilizando RV, incorporando testes de atenção, memória visual, funções executivas e audição (YEH et al., 2012). Também busca superar os limites dos testes tradicionais, como testes em papéis, sendo demorados e poucos motivadores (YEH et al., 2012).

A "Virtual Classroom" de Yeh et al. (YEH et al., 2012), consiste em um ambiente escolar completo com carteiras enfileiradas, quadro-negro, janelas mostrando o ambiente externo, colegas e professor, como mostrado na Figura 2.9.



(a) Distrações do lado Direito

(b) Distrações do lado Esquerdo



(c) Distrações dentro da sala de Aula

Figura 2.9 – Virtual Classroom com distrações. Adaptado de (YEH et al., 2012)

Assim como os autores citados anteriormente (RIZZO et al., 2000; ADAMS et al., 2009), Yeh et al. (YEH et al., 2012) adicionaram distratores visuais e auditivos, sendo barulhos externos, objetos em movimentos e distrações externas.

Em seu trabalho, Yeh et al. (YEH et al., 2012), aplica quatro testes interativos: CPT, identificar letras específicas em uma tela; Teste de funções Executivas, Seleção de Figuras com base em uma regra; Teste de Memória Visual, memorizar e identificar figuras exibidas previamente; Teste de Audição, Responder a sequências específicas de sons. Teste realizado com adultos, confirmaram que as distrações afetam significativamente a atenção (YEH et al., 2012).

Enquanto (RIZZO et al., 2000) focam na viabilidade inicial e nas possibilidades do "Virtual Classroom", (YEH et al., 2012). integram tecnologias mais avançadas (como Unity3D e sensores de movimento), criando uma experiência mais imersiva e adaptável. (YEH et al., 2012) ampliam o número de testes e a coleta de dados, trazendo maior rigor científico e ampliando o escopo de aplicação.

Mais recentemente, (STOKES et al., 2022) expandiram o uso do "Virtual Classroom" incorporando técnicas de *Eye Tracking* integradas ao headset de RV, com o objetivo de mensurar em tempo real os efeitos de distratores naturalistas sobre a atenção de crianças com TDAH. Esse estudo, em formato de prova de conceito, traz avanços significativos em relação às abordagens anteriores, como apresentado a seguir.

Em 2022, (STOKES et al., 2022) utilizaram o *Eye Tracking* para medir a atenção visual de crianças com TDAH em uma versão atualizada do "Virtual Classroom" de (RIZZO et al., 2000). A ideia central do estudo foi verificar se, quando um distrator surgia (visual ou auditivo) o olhar desviava do alvo principal ou área de interesse (AOI) (SALVUCCI; GOLDBERG, 2000), representado pelo quadro branco, e se isso impactava negativamente o desempenho.

O objetivo central dos autores foi testar, em um estudo de prova de conceito, se um ambiente de sala de aula em RV, com distratores naturalistas (como celular tocando, colega cochichando ou ônibus passando pela janela), seria capaz de reduzir a atenção e o desempenho em crianças com TDAH, e se o *Eye Tracking* integrado ao headset seria capaz de captar a dinâmica temporal dessa distração.

O estudo contou com 20 voluntários diagnosticados com TDAH, com idades entre 8 e 12 anos, que realizaram diferentes tarefas apresentadas no quadro branco virtual (como *Stroop* audiovisual, matemática e CPT com imagens). Durante a execução, distratores surgiam em três categorias principais:

1. Janela: movimentação externa (ônibus, carros, pedestres);
2. Colegas de sala: alunos realizando ações distrativas;
3. Celulares: sons e imagens de aparelhos tocando.

Os autores utilizaram como métricas principais: taxa de fixação na área de interesse, taxa de resposta por período e taxa de distração e desempenho associado (STOKES et al., 2022). Os resultados mostraram que crianças com TDAH não precisam fixar o olhar por muito tempo no distrator para sofrer impacto significativo; o desafio maior está na dificuldade de retomar o foco após a distração (STOKES et al., 2022).

Além disso, os autores reforçam a existência de uma lacuna na literatura, destacando que há poucos trabalhos prévios que combinem RV, *Eye Tracking* e TDAH de forma integrada, o que reforça o caráter inicial e exploratório do estudo (STOKES et al., 2022).

Ao longo das últimas duas décadas, observa-se uma evolução gradual no uso da Realidade Virtual para avaliação e intervenção no TDAH. O trabalho de (RIZZO et al., 2000) introduziu o "Virtual Classroom" como uma ferramenta inovadora para avaliar atenção em contextos mais ecológicos. (ADAMS et al., 2009) ampliaram esse modelo com comparações a métodos tradicionais, confirmando sua validade. (YEH et al., 2012) adicionaram novas funcionalidades, explorando múltiplos testes cognitivos e tecnologias mais avançadas. Por fim, (STOKES et al., 2022) incorporaram o *Eye Tracking* integrado ao headset, possibilitando capturar a dinâmica temporal da distração em tempo real.

Apesar desses avanços, todos os estudos destacam a existência de uma lacuna na literatura, caracterizada pela escassez de pesquisas robustas que integrem RV, *Eye Tracking* e BCI em um

framework unificado para mensuração da atenção em pessoas com TDAH, onde (STOKES et al., 2022) deixam claro essa deficiência na literatura. Essa lacuna é o ponto de partida para a presente pesquisa.

Com base nesses fundamentos teóricos, o próximo capítulo aborda o desenvolvimento do *framework* proposto, detalhando os materiais utilizados, a metodologia adotada e as etapas de implementação da aplicação.

3 Materiais e Métodos

Para garantir uma abordagem metodológica bem definida e um desenvolvimento eficiente, este capítulo descreve os materiais utilizados e as etapas de implementação do protótipo. O desenvolvimento do protótipo constitui a parte prática deste trabalho, sendo essencial para validar as hipóteses e demonstrar a aplicabilidade da Realidade Virtual no contexto do TDAH.

Inicialmente, apresentamos os dispositivos e softwares empregados na construção da aplicação, seguidos pela metodologia, que aborda desde a concepção inicial até a finalização do protótipo. Em seguida, são detalhadas as etapas do desenvolvimento, incluindo modelagem, programação e testes realizados. A documentação desse processo garante a replicabilidade do estudo e possibilita futuras melhorias e adaptações

Para a criação da aplicação, foram utilizados os seguintes ambientes e/ou equipamentos:

- **Headset de Realidade Virtual Meta Quest Pro:** O Meta Quest Pro foi escolhido por sua capacidade de operar em modo autônomo e sem cabos, proporcionando maior liberdade e flexibilidade ao usuário. Seu sistema operacional independente permite o carregamento e a execução da aplicação sem a necessidade de um computador externo.

No início do projeto, utilizamos o HTC Vive como *headset* de RV. Entretanto, optamos pela substituição pelo Meta Quest Pro devido à sua maior portabilidade e independência de cabos. Além disso, o Meta Quest Pro é mais leve, proporcionando maior conforto durante o uso prolongado. Outra vantagem relevante é a presença de rastreamento ocular integrado ao dispositivo, permitindo a análise mais precisa do comportamento visual e do nível de atenção do usuário durante a experiência imersiva.

- **Ambiente de Criação UNITY 3D:** O desenvolvimento da aplicação foi realizado no Unity 3D, um dos principais motores gráficos para criação de experiências em Realidade Virtual. O Unity oferece uma ampla gama de ferramentas para modelagem, programação e otimização de ambientes imersivos, além de ser compatível com diversos dispositivos de RV, garantindo maior flexibilidade ao projeto.
- **Unicorn Hybrid Black:** O Unicorn Hybrid Black é um dispositivo de Interface Cérebro-Computador que nos permite captar ondas cerebrais, Figura 2.6.

A partir da definição dos materiais, iniciou-se a implementação da aplicação, seguindo um conjunto estruturado de etapas para garantir a fidelidade da simulação e a interatividade do usuário.

1. **Configuração do Óculos de RV:** O Meta Quest Pro foi configurado para garantir compatibilidade com o Unity 3D. Ajustes específicos foram feitos para estabelecer a conexão inicial com o computador e permitir o carregamento da aplicação no dispositivo. Após a configuração, o *headset* foi testado para garantir seu funcionamento adequado em modo autônomo.
2. **Desenvolvimento do Ambiente Virtual:** O ambiente virtual foi projetado para criar uma experiência interativa e imersiva, utilizando o Unity 3D para modelagem e programação. O processo de desenvolvimento seguiu três etapas principais:
 - a) Criação do cenário: O ambiente foi modelado para representar uma sala, contendo uma mesa ao centro com uma árvore de Natal e diversas bolinhas decorativas. O objetivo era simular uma tarefa simples, na qual o usuário deve pegar as bolinhas e colocá-las na árvore, promovendo interação e concentração no ambiente virtual.
 - b) Programação da interação: A lógica de interação foi implementada para permitir que os usuários manipulem objetos no ambiente virtual. Isso incluiu a detecção de gestos, a resposta dos objetos às ações do usuário e a programação de eventos específicos na simulação.
 - c) Integração com o óculos de Realidade Virtual: O ambiente virtual foi integrado ao Meta Quest Pro, garantindo que os movimentos e ações do usuário no mundo real fossem refletidos na realidade virtual.

3.1 Geração de Dados Sintéticos de Eye Tracking

Como parte do desenvolvimento do framework, tornou-se necessário contar com dados de *Eye Tracking* para análise da atenção. Dada a ausência de uma base de dados real neste estágio do trabalho, foram gerados dados sintéticos que simulam o comportamento de usuários com e sem TDAH em um ambiente tridimensional.

A lógica da geração foi estruturada em dois cenários distintos:

- **Usuários com TDAH:** caracterizados por menores tempos de fixação (*duration*) nos objetos virtuais, refletindo a dificuldade em manter o foco.
- **Usuários sem TDAH:** caracterizados por maiores tempos de fixação, simulando maior estabilidade da atenção.

Cada registro é composto pelas coordenadas tridimensionais (x, y, z) do ponto de atenção e pela duração da fixação. Essa estratégia permitiu a simulação de padrões coerentes com a literatura sobre atenção em indivíduos com TDAH, como vista na Figura 3.1.

- **Verde:** Indica um tempo mais elevado de fixação.

- **Vermelho:** Representa um tempo mais curto de fixação.

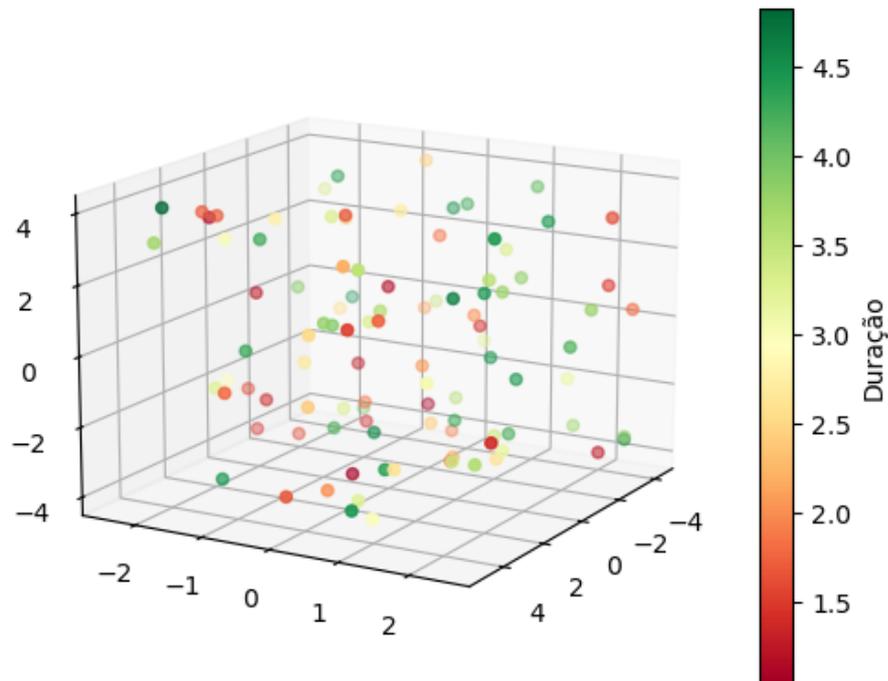


Figura 3.1 – Exibição dos dados provenientes do Eye Tracking em forma de gráfico de dispersão

O código responsável pela geração dos dados sintéticos encontra-se no Apêndice A.

3.2 Protótipo

O protótipo desenvolvido consiste em um ambiente virtual interativo projetado para avaliar a experiência do usuário e sua capacidade de concentração em um cenário imersivo. O ambiente é composto por uma pequena sala com uma árvore de Natal ao centro, simulando uma tarefa específica na Realidade Virtual.

Ao utilizar o óculos de RV, o usuário visualizará a sala a partir de uma perspectiva em primeira pessoa, tendo como ponto focal uma mesa central, sobre a qual estão dispostas a árvore de Natal e diversas bolinhas decorativas. A principal atividade consiste em interagir com esses objetos, pegando as bolinhas e posicionando-as corretamente na árvore.

Além dos elementos principais, foram incorporados estímulos externos para simular um ambiente mais dinâmico e realista. Entre esses elementos, destacam-se:

- **Uma porta posicionada em um dos lados da sala**, que serve como ponto de referência espacial no ambiente virtual (Figura 3.2).
- **NPCs que caminham do lado de fora**, gerando movimentação perceptível ao usuário.

- **Efeitos sonoros de multidão**, introduzidos para criar um ambiente mais desafiador e avaliar o impacto de distrações auditivas na execução da tarefa.



Figura 3.2 – Sala virtual com as portas.

O design do ambiente foi pensado para fornecer um equilíbrio entre simplicidade e realismo, garantindo que o usuário foque na tarefa principal sem comprometer a sensação de imersão. Além disso, o protótipo foi estruturado para possibilitar ajustes e expansões futuras, permitindo novas interações e a inclusão de elementos adicionais conforme a evolução do estudo.

Com o desenvolvimento do *framework* em Realidade Virtual concluído, o sistema estabeleceu um ambiente interativo para a avaliação da atenção em indivíduos com TDAH, integrando tecnologias como Eye Tracking e BCI. No próximo capítulo, são apresentados os resultados preliminares da pesquisa, destacando as observações iniciais sobre a experiência do usuário e as possíveis melhorias para futuras versões do sistema.

4 Resultados

4.1 Framework

Nesta pesquisa, foi desenvolvido um *framework* em Realidade Virtual (RV) para a medição da atenção em indivíduos com TDAH. Conforme descrito no Capítulo 3, o *framework* inclui uma aplicação que consiste em uma sala virtual com uma árvore de Natal em uma mesa central e diversas bolinhas decorativas espalhadas, que devem ser posicionadas na árvore pelo usuário (Figura 4.1).

A principal tarefa do usuário é pegar as bolinhas e posicioná-las corretamente na árvore. Essa atividade foi projetada para testar a capacidade de foco do participante em Realidade Virtual, enquanto estímulos externos atuam como elementos de distração.

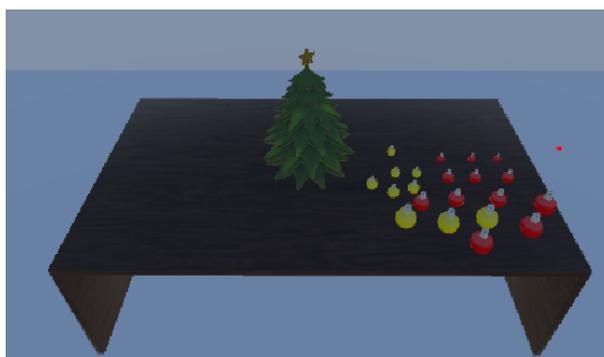


Figura 4.1 – Aplicação com a Árvore de Natal em Execução

4.1.1 Estímulos Distratores

Para tornar o ambiente mais realista e avaliar a resposta do usuário a distrações, foram inseridos estímulos visuais e auditivos que simulam cenários do cotidiano e desafiam a capacidade de concentração. Os distratores incluem:

- **Sons de pessoas conversando do lado de fora da sala**, simulando um ambiente escolar com corredores movimentados.
- **Uma porta pela qual NPC¹ podem entrar e sair**, introduzindo estímulos visuais inesperados.
- **Som de celular vibrando**, representando as constantes notificações e interrupções do mundo digital.

¹ *Non-Playable Character*, personagem em um jogo que não pode ser controlado pelo jogador ou usuário (SILVA; RIBEIRO, 2021)

Esses estímulos foram escolhidos com base em estudos (RIZZO et al., 2000; ADAMS et al., 2009; YEH et al., 2012; CHONG et al., 2023) sobre a atenção em indivíduos com TDAH, buscando compreender como diferentes tipos de distração - auditiva e visual - afetam a execução de tarefas dentro da RV.

4.1.2 Interação do Usuário com o Framework

Para utilizar o framework, o usuário segue os seguintes passos:

1. Colocação da touca do BCI (Unicorn Hybrid Black), que capturará os sinais cerebrais durante a experiência.
2. Colocação dos óculos de RV (Meta Quest Pro), que possibilita a visualização e interação no ambiente virtual.

Como o Meta Quest Pro possui Eye Tracking integrado, a tecnologia é explorada para analisar padrões de fixação do olhar e mudanças na atenção. No entanto, a sobreposição do BCI e dos óculos de RV pode gerar um leve desconforto inicial devido a limitações ergonômicas, conforme identificado em estudos anteriores (MALAQUIAS et al., 2024a).

4.2 Análise dos Dados

Após detalhar sobre o funcionamento do *Framework*, esta seção se dedica à análise conjunta dos resultados provenientes do Eye Tracking e das ondas cerebrais. Para uma compreensão abrangente do índice de atenção em indivíduos com TDAH.

Enquanto o *Eye Tracking* permite identificar para onde o usuário está olhando e por quanto tempo, revelando padrões de foco visual e dispersão da atenção no ambiente tridimensional, a análise das ondas cerebrais fornece *insights* sobre o estado cognitivo. Ela correlaciona atividades como atenção e concentração com bandas específicas (Gamma e Beta) e estados de relaxamento ou sonolência com ondas Delta e Theta. Ao correlacionar esses dados, é possível obter uma inferência mais precisa e detalhada sobre os índices de atenção e distração em um ambiente imersivo.

4.2.1 Dados de Eye Tracking

O Eye Tracking emerge neste estudo como um componente fundamental para a análise da atenção visual, fornecendo dados cruciais para inferir os níveis de atenção, especialmente em indivíduos com TDAH (LEV et al., 2022; STOKES et al., 2022). A premissa central é que a medição dos movimentos oculares pode revelar o foco e a dispersão da atenção em ambientes imersivos, sendo as fixações do olhar uma medida primária e explícita da atenção visual (KNOEFERLE; Pyykkönen-Klauck; CROCKER, 2016).

Para a pesquisa, o óculos de Realidade Virtual Meta Quest Pro foi selecionado por sua funcionalidade de rastreamento ocular integrada, além de sua portabilidade e peso reduzido, como já argumentado no Capítulo 3.

Os dados de rastreamento ocular captados pelo Meta Quest Pro incluem:

- Posição do olhar no espaço: Coordenadas tridimensionais (X, Y, Z) do ponto de foco.
- Tempo de fixação: Duração que o usuário manteve o olhar fixo em um ponto específico (SALVUCCI; GOLDBERG, 2000; MAHANAMA et al., 2022).
- Quantidade de fixações: Número de vezes que o olhar foi fixado em uma determinada área (SALVUCCI; GOLDBERG, 2000; MAHANAMA et al., 2022).

Esses dados são formatados como um conjunto de pontos $[x; y; z; s]$, onde s representa a duração da fixação em segundos.

A visualização dos dados de rastreamento ocular é realizada por meio de um gráfico de dispersão tridimensional (Figura 3.1), com uma escala de cores para indicar o tempo de fixação:

A partir da densidade e predominância das cores no gráfico, são formuladas as seguintes hipóteses preliminares sobre o nível de atenção:

- **Baixo Índice de Atenção:** Uma maior densidade de pontos avermelhados sugere que o usuário estava mais distraído, o que pode indicar um alto índice de distração, característico de pessoas com déficit de atenção.
- **Alto Índice de Atenção:** Uma maior densidade de pontos verdes é interpretada como um índice de atenção mais elevado.
- **Dispersão da Atenção:** Se as regiões de alta concentração de pontos não correspondem à região de interesse da aplicação, estima-se que houve uma dispersão da atenção.

A aplicação do rastreamento ocular em ambientes 3D de RV apresenta desafios técnicos. Ao contrário dos sistemas 2D, onde o rastreamento ocorre em um plano, na RV o eixo Z (profundidade) também é considerado, adicionando uma camada de complexidade. A precisão do

rastreamento pode ser afetada por condições de iluminação (GARBIN et al., 2020), a complexidade dos movimentos oculares (KTISTAKIS et al., 2022; KREJTZ et al., 2018), e a diversidade fisiológica entre os usuários (KTISTAKIS et al., 2022; ILOKA; ANUKWE, 2020). Há uma necessidade contínua de desenvolver estudos avançados em visualização de dados para ambientes 3D, a fim de utilizar eficazmente as informações obtidas.

4.2.2 Dados EEG

A análise das ondas cerebrais é um componente fundamental para a pesquisa em andamento, cujo objetivo principal é inferir os níveis de atenção em indivíduos com TDAH. Este estudo visa aprofundar a compreensão do índice de atenção por meio da análise de dados de atividades cerebrais, em conjunto com o rastreamento ocular.

A leitura das ondas cerebrais é conduzida pelo dispositivo de Interface Cérebro-Computador Unicorn Hybrid Black, escolhido por sua alta precisão e confiabilidade. O Unicorn Recorder é utilizado para a aquisição e visualização dos dados brutos de EEG, e a aplicação Unicorn Bandpower permite a visualização e o registro das ondas cerebrais em oito posições distintas na cabeça. Os dados coletados podem ser armazenados em arquivos CSV para processamento *offline*.

É importante salientar que os resultados apresentados são provenientes de testes internos realizados pelo próprio autor, sem a participação de voluntários externos.

As ondas cerebrais são categorizadas em diversas bandas de frequência, cada qual associada a estados mentais e processos cognitivos específicos. A Tabela 4.1 detalha as características de cada banda conforme adaptado de (AL-ANSI et al., 2023).

Bandas	Frequência (Hz)	Atividade relacionada
Delta	0 - 4 Hz	Estado de sono profundo, inconsciente.
Theta	4 - 8 Hz	Estado de relaxamento, meditação e sonho.
Alpha	8 - 13 Hz	Relaxamento acordado, consciência, consciência sem atenção e calma.
Beta	13 - 30 Hz	Pensamento ativo, estado de alerta, tomada de decisão e julgamento.
Gamma	Acima de 30 Hz	Processamento cognitivo, autocontrole e inteligência.

Tabela 4.1 – Bandas EEG e suas características, adaptado de (AL-ANSI et al., 2023)

O Unicorn Bandpower registra essas bandas, incluindo as subdivisões Beta Low, Beta Mid e Beta High. O arquivo CSV gerado contém 70 colunas, detalhando a atividade de cada canal e as médias das derivações bipolares para cada tipo de onda.

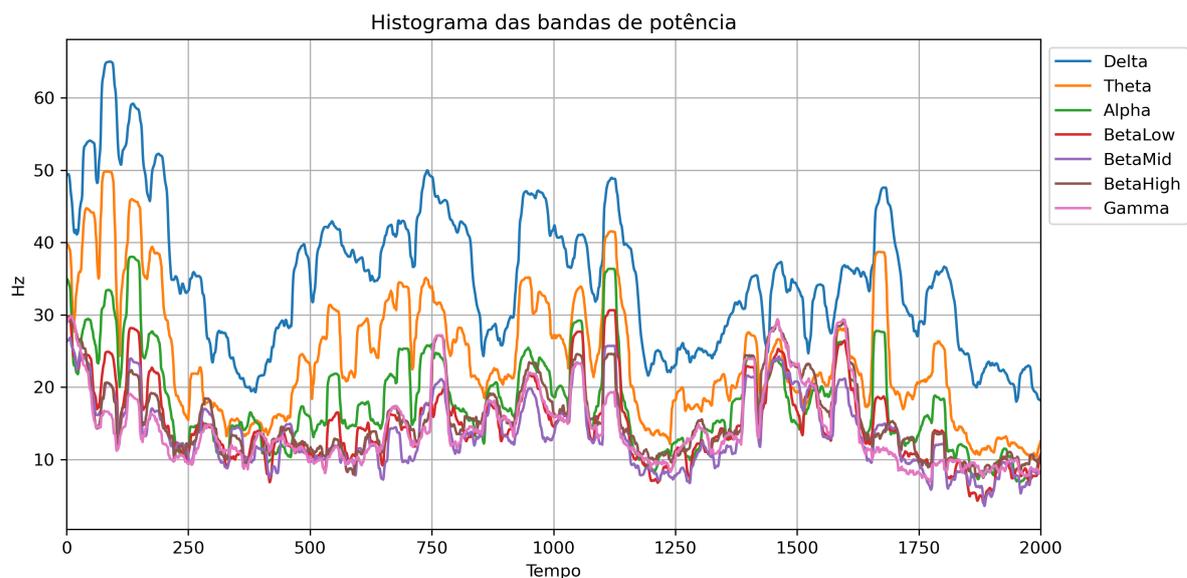


Figura 4.2 – Histograma gerado a partir da leitura das ondas cerebrais selecionadas.

Para inferir a atenção em pessoas com TDAH, o estudo foca nas faixas de ondas Beta e Gamma, pois estas estão diretamente relacionadas à atenção, foco, concentração, resolução de problemas, aprendizado e processamento de informações (ALIM; IMTIAZ, 2023; FERNÁNDEZ et al., 1995; VIALATTE et al., 2009). Em contraste, em indivíduos com TDAH, as ondas Beta e Gamma tendem a apresentar baixa atividade, enquanto as ondas Delta e Theta, associadas ao sono profundo, inconsciência, relaxamento e meditação, tendem a aumentar (ALIM; IMTIAZ, 2023; PALVA; PALVA, 2007; BUZSÁKI, 2005).

Resultados obtidos de testes internos indicam as seguintes correlações entre as ondas cerebrais, como observado na Figura 4.3:

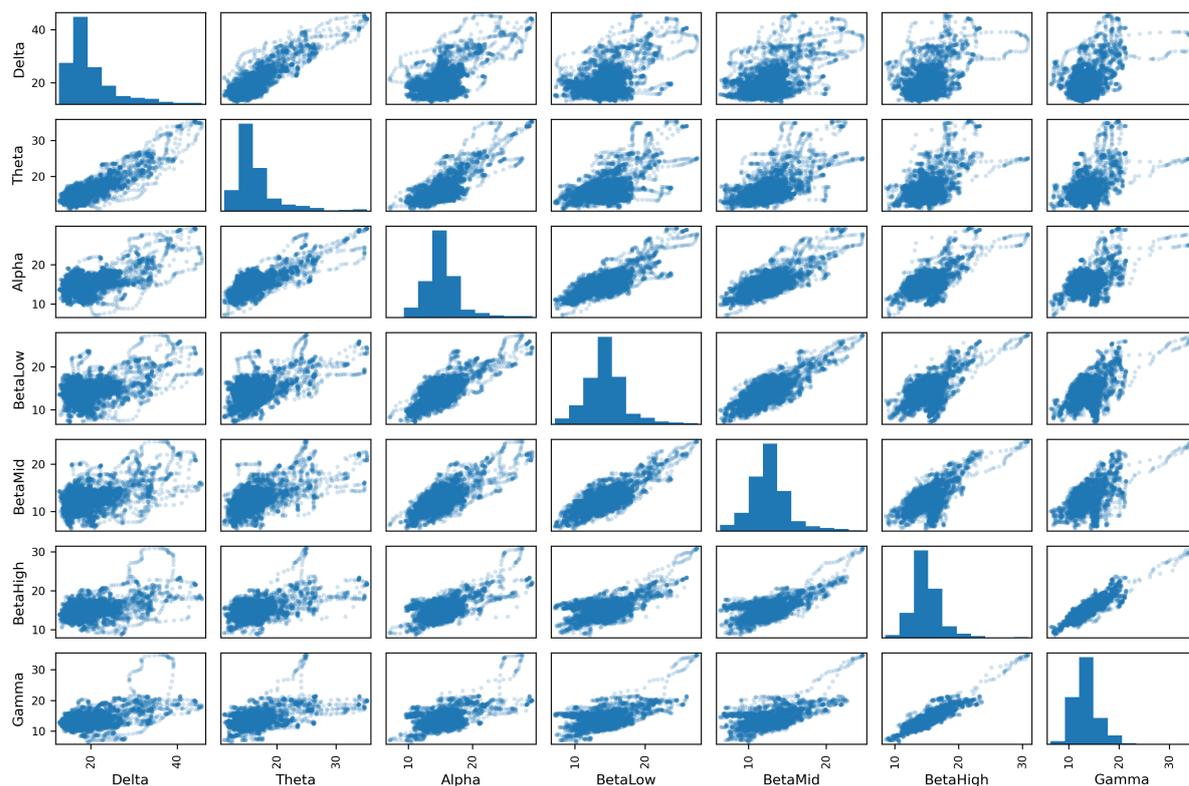


Figura 4.3 – Gráfico de correlação das ondas

- Observou-se uma relação de oposição entre as ondas Delta e Theta, sugerindo que o aumento da atividade de Delta tende a diminuir a atividade de Theta;
- Uma relação inversamente proporcional é notada entre as ondas Beta (Low, Mid, High) e a onda Delta, o que sugere que um aumento na atividade Delta pode consideravelmente reduzir a atividade Beta;
- Similarmente, as ondas Theta (indicativas de meditação profunda e sonolência) (KORA et al., 2021) e Alpha (associadas a um estado de vigília relaxada e concentração) também demonstram essa relação de oposição (PALVA; PALVA, 2007; KLIMESCH; SCHIMKE; PFURTSCHELLER, 1993);
- Por outro lado, as ondas Gamma e Beta exibem uma correlação positiva, indicando que o aumento da atividade dessas ondas está associado ao processamento de informações complexas (ALIM; IMTIAZ, 2023; KORA et al., 2021).

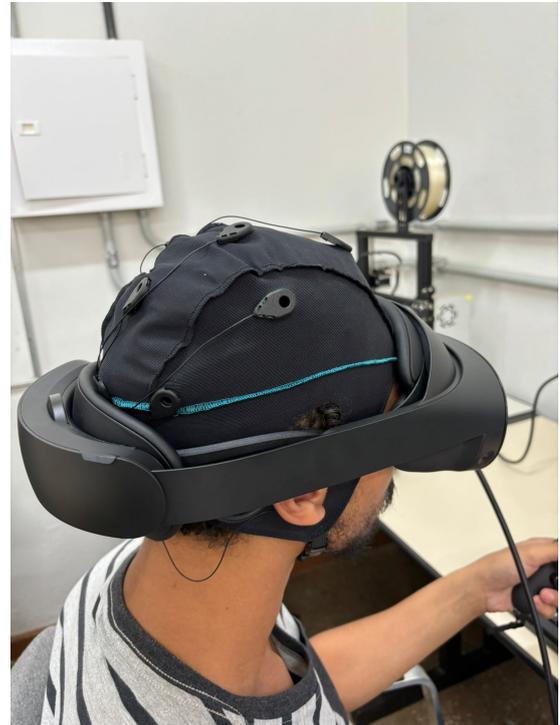
A interpretação desses padrões de ondas cerebrais é complementada pelo acompanhamento de um profissional da área da saúde, o que fortalece o embasamento da análise e permite a realização de inferências mais precisas sobre o foco e a atenção a partir dos resultados obtidos.

Um desafio significativo reside na ergonomia da utilização conjunta dos dispositivos: o Meta Quest Pro e o Unicorn Hybrid Black (Figura 4.4). A sobreposição desses equipamentos

pode gerar desconforto e comprometer a estabilidade, afetando a precisão da coleta de dados de Eye Tracking e BCI, como mostrado nas Figuras 4.4a e 4.4b.



(a) Interação com ambiente virtual utilizando o Óculos Meta Quest Pro e o Unicorn Hybrid Black.



(b) Vista lateral da aplicação conjunta dos dispositivos durante o experimento.

Figura 4.4 – Integração entre realidade virtual e BCI

Ademais, foram identificadas as limitações impostas por *softwares* fechados, como os do Meta Quest Pro e do Unicorn Hybrid Black. A falta de transparência, a ausência de uma comunidade ativa e a documentação escassa dificultam a integração com outros *softwares*, a validação de resultados e o intercâmbio de conhecimento.

4.3 Autoetinografia

Este trabalho parte de uma inquietação pessoal. Como pessoa neurodivergente diagnosticada com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH), eu me intriguei com os desafios que enfrento para manter o foco, concluir tarefas e lidar com ambientes repletos de estímulos externos. Essa inquietação se transformou em uma pergunta de pesquisa: seria possível que um ambiente virtual (controlado e imersivo) proporcionasse melhores condições de foco e atenção para pessoas com TDAH do que um ambiente real, como uma sala de aula tradicional?

Essa hipótese nasceu da minha própria vivência. Em espaços físicos, eu me percebo constantemente distraído por fatores sonoros e visuais: conversas paralelas, objetos em movimento, ruídos externos, telas acesas. Em contraste, ao utilizar óculos de Realidade Virtual, senti uma espécie de “isolamento funcional”, como se o mundo externo fosse temporariamente

silenciado. A experiência despertou em mim a ideia de que, talvez, ambientes virtuais cuidadosamente projetados (com estímulos sob medida) pudessem minimizar distrações e favorecer a concentração.

Durante o desenvolvimento, o TDAH esteve presente como um companheiro constante, afetando diretamente meu processo. A procrastinação, característica marcante do transtorno, dificultou a manutenção de um ritmo contínuo. Em alguns momentos, hiperfoco e entusiasmo me levaram a investigar demais determinados tópicos, extrapolando o escopo definido. Em outros, a desmotivação tornava difícil iniciar tarefas básicas. A dificuldade de organização se refletiu tanto na estruturação do projeto quanto na gestão do tempo. A sensação de estar sempre tentando "correr atrás do próprio cronograma" foi recorrente.

Por outro lado, essa experiência trouxe aprendizados valiosos. Ao estudar mais profundamente as características do TDAH, não apenas para fundamentar teoricamente o trabalho, mas também para compreender melhor minha própria mente, comecei a aplicar estratégias no meu dia a dia: segmentação de tarefas, uso de lembretes visuais, técnicas de foco e pausas estruturadas.

Outro destaque foi a interdisciplinaridade do projeto. A participação de profissionais da Psicologia e da Pedagogia, aliada ao contato com outros estudantes (neurodivergentes e não neurodivergentes), foi essencial para validar ideias e incorporar diferentes perspectivas. Esse diálogo me ajudou a sair da bolha da minha própria experiência e a reconhecer a diversidade dentro do próprio espectro da neurodivergência.

4.4 Publicações Realizadas

Durante o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas publicações que contribuíram para o amadurecimento das ideias. Elas reforçaram a relevância do tema e o interesse da comunidade de computação em aplicações de tecnologias emergentes, como a Realidade Virtual, no apoio a pessoas com TDAH, além de destacar a crescente colaboração interdisciplinar.

No ano de 2024, foram realizadas as seguintes publicações:

1. **Um estudo inicial sobre as contribuições da Realidade Virtual para a avaliação do índice de atenção de pessoas com TDAH** - Apresentado nos Anais da IX Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde (Ouro Preto, 2024), este trabalho discute as principais contribuições da Realidade Virtual para aferir a atenção e como a integração entre as plataformas, como RV, Eye Tracking e EEG, pode ser de grande valia para essa tarefa (MALAQUIAS et al., 2024b).
2. **Proposal for a tool for the applicability of VR and BCI in an interdisciplinary study to infer attention in individuals with ADHD²** - Apresentado no XXIII Simpósio Brasileiro

² N.T. Proposta de ferramenta para aplicabilidade de RV e BCI em estudo interdisciplinar para inferência de atenção em indivíduos com TDAH

sobre Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (Brasília, 2024), este trabalho se destacou por mostrar à comunidade de IHC o quão inovadora é a integração da RV, do Eye Tracking e do BCI para inferir a atenção em pessoas com TDAH e como a colaboração interdisciplinar com áreas como a pedagogia e a psicologia é fundamental (MALAQUIAS et al., 2024a). Destaca-se que este evento é classificado como qualis A3.

Em suma, a implementação do framework e os resultados, embora baseados em testes internos, demonstraram o potencial da abordagem para mensurar a atenção em ambientes de realidade virtual. A autoetnografia e as publicações realizadas reforçaram a relevância do tema e a viabilidade da interdisciplinaridade. Com base nessas descobertas, o próximo capítulo, sintetizará as principais contribuições deste trabalho e apresentará as direções para estudos futuros.

5 Considerações Finais

Este capítulo apresenta as reflexões finais sobre o desenvolvimento e os potenciais impactos do *framework* em Realidade Virtual proposto para a análise da atenção em indivíduos com TDAH.

5.1 Conclusão

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um *framework* em Realidade Virtual para a avaliação da atenção em indivíduos com Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade. Mediante a construção de um ambiente virtual controlado e a integração de tecnologias como Eye Tracking e BCI, foi possível criar um sistema capaz de mensurar a atenção.

Até o momento, o *framework* desenvolvido demonstra potencial para a análise da atenção de indivíduos com TDAH em um ambiente de Realidade Virtual. No entanto, sua eficácia ainda não foi testada com usuários externos. Portanto, será necessário realizar experimentos futuros para avaliar sua aplicabilidade e possíveis melhorias, bem como a ergonomia do uso combinado de dispositivos de Eye Tracking e óculos de Realidade Virtual. A implementação do sistema e a integração das tecnologias indicam que a abordagem é promissora; contudo, ajustes na calibração dos estímulos e na experiência do usuário são necessários para validar sua efetividade.

Além disso, este estudo contribui para a área ao explorar a interseção entre RV, Eye Tracking e BCI no contexto do TDAH, um campo ainda pouco abordado na literatura. A relevância do tema foi reforçada por publicações científicas realizadas ao longo do projeto, consolidando a importância da pesquisa e abrindo caminho para estudos complementares.

5.2 Trabalhos Futuros

Para a continuidade do estudo, algumas direções podem ser exploradas:

- **Testes com Usuários:** A realização de experimentos com indivíduos diagnosticados com TDAH permitirá validar a eficácia do *framework* em um cenário realista e fornecerá dados mais robustos para análise.
- **Aprimoramento Ergonômico:** O estudo avaliará soluções para aprimorar a ergonomia e a estabilidade dos dispositivos, assegurando conforto ao usuário e maior precisão na análise dos dados.
- **Aperfeiçoamento das Distrações:** Ajustes na intensidade e na variabilidade dos estímulos visuais e auditivos podem aumentar a precisão na medição da atenção.

- **Análise dos Dados com Inteligência Artificial:** Estudos têm mostrado que a Inteligência Artificial é usada em diversas áreas (RAJPURKAR et al., 2022; ZHANG; ASLAN, 2021) e para prever emoções e auxiliar no diagnóstico do TDAH (ALIM; IMTIAZ, 2023; KAS-TRATI et al., 2021; DUTTA et al., 2023). Diante desses avanços, propõe-se a incorporação de inteligência artificial para aperfeiçoar a análise do nível de atenção do usuário.

Dessa forma, este trabalho representa um passo importante no uso da Realidade Virtual como ferramenta de suporte para indivíduos com TDAH. As melhorias sugeridas e os estudos futuros contribuirão para fortalecer a aplicabilidade do *framework*, possibilitando sua adoção em pesquisas acadêmicas e práticas profissionais voltadas para o aprimoramento da atenção e do foco.

Referências

- ADAMOU, M.; ASHERSON, P.; ARIF, M.; BUCKENHAM, L.; CUBBIN, S.; DANCZA, K.; GORMAN, K.; GUDJONSSON, G.; GUTMAN, S.; KUSTOW, J.; AL. et. Recommendations for occupational therapy interventions for adults with adhd: A consensus statement from the uk adult adhd network. *BMC Psychiatry*, v. 21, n. 1, 2021.
- ADAMS, R.; FINN, P.; MOES, E.; FLANNERY, K.; RIZZO, A. Distractibility in attention/deficit/hyperactivity disorder (adhd): The virtual reality classroom. *Child Neuropsychology*, v. 15, n. 2, p. 120–135, mar. 2009. ISSN 0929-7049, 1744-4136.
- AL-ANSI, A. M.; JABOUB, M.; GARAD, A.; AL-ANSI, A. Analyzing augmented reality (ar) and virtual reality (vr) recent development in education. *Social Sciences & Humanities Open*, v. 8, n. 1, p. 100532, 2023. ISSN 25902911.
- ALIM, A.; IMTIAZ, M. H. Automatic Identification of Children with ADHD from EEG Brain Waves. *Signals*, v. 4, n. 1, p. 193–205, fev. 2023. ISSN 2624-6120.
- ANDRADE, A. Game engines: A survey. *EAI Endorsed Transactions on Game-Based Learning*, v. 2, n. 6, p. 150615, nov. 2015. ISSN 2034-8800.
- Apple Inc. *Apple Vision Pro*. <<https://www.apple.com/apple-vision-pro/>>.
- ASSOCIATION, A. P. *DSM-5 - Manual Diagnóstico e Estatístico de Transtornos Mentais*. 5. ed. Porto Alegre, RS: Grupo A, 2016. ISBN 9788582711835. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582711835/>>.
- BANAKAR, R.; NAGANNA, D. K. A Comprehensive Review of ADHD: Insights and Technological Interventions in Diagnosis. *American Journal of Psychiatric Rehabilitation*, v. 28, n. 04, maio 2025.
- BARKLEY, R. A.; FISCHER, M. The milwaukee longitudinal study of hyperactive (adhd) children. *Oxford Medicine Online*, Oct 2016.
- BLINDER, D.; NISHITSUJI, T.; SCHELKENS, P. Real-Time Computation of 3D Wireframes in Computer-Generated Holography. *IEEE Transactions on Image Processing*, v. 30, p. 9418–9428, 2021. ISSN 1057-7149, 1941-0042.
- BUZSÁKI, G. Theta rhythm of navigation: Link between path integration and landmark navigation, episodic and semantic memory. *Hippocampus*, v. 15, n. 7, p. 827–840, jan. 2005. ISSN 1050-9631, 1098-1063.
- CARVALHO, A. d. S. M. d.; FERREIRA, L. M.; ALBUQUERQUE, L. F. d. S.; JAGOBUCCI, L. A.; SOUZA, K. d. L. A.; TRICHES, J. C.; ALMEIDA, L. M. d.; PEREIRA, I. d. S.; PEREIRA, E. d. S.; SOUTO, P. F. The history of adhd – evolution. *Research, Society and Development*, v. 11, n. 2, p. e7611225604, Jan. 2022. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/25604>>.
- CELES, W.; ABRAHAM, F. Texture-Based Wireframe Rendering. In: *2010 23rd SIBGRAP Conference on Graphics, Patterns and Images*. Gramado: IEEE, 2010. p. 149–155. ISBN 978-1-4244-8420-1.

CHATPREECHA, P.; USANAVASIN, S. Design of a collaborative knowledge framework for personalised attention deficit hyperactivity disorder (adhd) treatments. *Children*, v. 10, n. 8, 2023. ISSN 2227-9067. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2227-9067/10/8/1288>>.

CHONG, N.; CHU, E.; NADONZA, A.; RODRIGUEZ, S. M.; TITH, S.; SHAN, J.; GRUNDY, J.; WANG, Y.; CHENG, B.; HOANG, T. An Empathetic Approach to Human-Centric Requirements Engineering Using Virtual Reality. In: *2023 IEEE 47th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*. Torino, Italy: IEEE, 2023. p. 1717–1724. ISBN 979-8-3503-2697-0.

CORONADO, E.; ITADERA, S.; Ramirez-Alpizar, I. G. Integrating Virtual, Mixed, and Augmented Reality to Human–Robot Interaction Applications Using Game Engines: A Brief Review of Accessible Software Tools and Frameworks. *Applied Sciences*, v. 13, n. 3, p. 1292, jan. 2023. ISSN 2076-3417.

DUTTA, P.; PAUL, S.; CENGIZ, K.; ANAND, R.; KUMAR, A. A predictive method for emotional sentiment analysis by deep learning from EEG of brainwave dataset. In: *Artificial Intelligence for Neurological Disorders*. [S.l.]: Elsevier, 2023. p. 25–48. ISBN 978-0-323-90277-9.

FARAONE, S. V.; BANASCHEWSKI, T.; COGHILL, D.; ZHENG, Y.; BIEDERMAN, J.; BELLGROVE, M. A.; NEWCORN, J. H.; GIGNAC, M.; Al Saud, N. M.; MANOR, I.; ROHDE, L. A.; YANG, L.; CORTESE, S.; ALMAGOR, D.; STEIN, M. A.; ALBATTI, T. H.; ALJOUDI, H. F.; ALQAHTANI, M. M.; ASHERSON, P.; ATWOLI, L.; BÖLTE, S.; BUITELAAR, J. K.; CRUNELLE, C. L.; DALEY, D.; DALSGAARD, S.; DÖPFNER, M.; Espinet (on behalf of CADDRA), S.; FITZGERALD, M.; FRANKE, B.; GERLACH, M.; HAAVIK, J.; HARTMAN, C. A.; HARTUNG, C. M.; HINSHAW, S. P.; HOEKSTRA, P. J.; HOLLIS, C.; KOLLINS, S. H.; Sandra Kooij, J.; KUNTSI, J.; LARSSON, H.; LI, T.; LIU, J.; MERZON, E.; MATTINGLY, G.; MATTOS, P.; MCCARTHY, S.; MIKAMI, A. Y.; MOLINA, B. S.; NIGG, J. T.; PURPER-OUAKIL, D.; OMIGBODUN, O. O.; POLANCZYK, G. V.; POLLAK, Y.; POULTON, A. S.; RAJKUMAR, R. P.; REDING, A.; REIF, A.; RUBIA, K.; RUCKLIDGE, J.; ROMANOS, M.; RAMOS-QUIROGA, J. A.; SCHELLEKENS, A.; SCHERES, A.; SCHOEMAN, R.; SCHWEITZER, J. B.; SHAH, H.; SOLANTO, M. V.; SONUGA-BARKE, E.; SOUTULLO, C.; STEINHAUSEN, H.-C.; SWANSON, J. M.; THAPAR, A.; TRIPP, G.; van de Glind, G.; van den Brink, W.; Van der Oord, S.; VENTER, A.; VITIELLO, B.; WALITZA, S.; WANG, Y. The world federation of adhd international consensus statement: 208 evidence-based conclusions about the disorder. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 128, p. 789–818, 2021. ISSN 0149-7634. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S014976342100049X>>.

FERNÁNDEZ, T.; HARMONY, T.; RODRÍGUEZ, M.; BERNAL, J.; SILVA, J.; REYES, A.; MAROSI, E. EEG activation patterns during the performance of tasks involving different components of mental calculation. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, v. 94, n. 3, p. 175–182, mar. 1995. ISSN 00134694.

FIBERT, P.; PEASGOOD, T.; RELTON, C. Rethinking adhd intervention trials: Feasibility testing of two treatments and a methodology. *European Journal of Pediatrics*, v. 178, n. 7, p. 983–993, 2019.

GARBIN, S. J.; KOMOGORTSEV, O.; CAVIN, R.; HUGHES, G.; SHEN, Y.; SCHUETZ, I.; TALATHI, S. S. Dataset for eye tracking on a virtual reality platform. In: *ACM symposium on eye tracking research and applications*. [S.l.: s.n.], 2020. p. 1–10.

g.tec medical engineering GmbH. *Unicorn Hybrid Black - 8 Channel Wearable EEG Headset*. <<https://www.gtec.at/product/unicorn-hybrid-black/>>.

GU, X.; CAO, Z.; JOLFAEI, A.; XU, P.; WU, D.; JUNG, T.-P.; LIN, C.-T. Eeg-based brain-computer interfaces (bcis): A survey of recent studies on signal sensing technologies and computational intelligence approaches and their applications. *IEEE/ACM Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, v. 18, n. 5, p. 1645–1666, 2021.

HaptX Inc. *HaptX Gloves G1*. <<https://haptx.com/gloves-g1/>>.

HTC Corporation. *HTC Vive*. <<https://www.vive.com/eu/product/vive/>>.

ILOKA, B. C.; ANUKWE, G. I. Review of eye-tracking: A neuromarketing technique. *Neuroscience Research Notes*, v. 3, n. 4, p. 29–34, dez. 2020. ISSN 2576-828X.

JENSEN, P. S.; GARCIA, J. A.; GLIED, S.; CROWE, M.; FOSTER, M.; SCHLANDER, M.; HINSHAW, S.; VITIELLO, B.; ARNOLD, L. E.; ELLIOTT, G.; HECHTMAN, L.; NEWCORN, J. H.; PELHAM, W. E.; SWANSON, J.; WELLS, K. Cost-Effectiveness of ADHD Treatments: Findings From the Multimodal Treatment Study of Children With ADHD. *American Journal of Psychiatry*, v. 162, n. 9, p. 1628–1636, set. 2005. ISSN 0002-953X, 1535-7228.

JULIANI, A.; BERGES, V.-P.; TENG, E.; COHEN, A.; HARPER, J.; ELION, C.; GOY, C.; GAO, Y.; HENRY, H.; MATTAR, M.; LANGE, D. *Unity: A General Platform for Intelligent Agents*. [S.l.]: arXiv, 2020.

KASTRATI, A.; PŁOMECKA, M. B.; PASCUAL, D.; WOLF, L.; GILLIOZ, V.; WATTENHOFER, R.; LANGER, N. *EEG EyeNet: A Simultaneous Electroencephalography and Eye-tracking Dataset and Benchmark for Eye Movement Prediction*. [S.l.]: arXiv, 2021.

KLIMESCH, W.; SCHIMKE, H.; PFURTSCHELLER, G. Alpha frequency, cognitive load and memory performance. *Brain Topography*, v. 5, n. 3, p. 241–251, mar. 1993. ISSN 0896-0267, 1573-6792.

KNOEFERLE, P.; Pyykkönen-Klauck, P.; CROCKER, M. W. (Ed.). *Visually Situated Language Comprehension*. Amsterdam ; Philadelphia: John Benjamins Publishing Company, 2016. (Advances in Consciousness Research, volume 93). ISBN 978-90-272-1360-0.

KOBER, S. E.; NEUPER, C. Using auditory event-related eeg potentials to assess presence in virtual reality. *International Journal of Human-Computer Studies*, v. 70, n. 9, p. 577–587, 2012. ISSN 1071-5819.

KORA, P.; MEENAKSHI, K.; SWARAJA, K.; RAJANI, A.; RAJU, M. S. EEG based interpretation of human brain activity during yoga and meditation using machine learning: A systematic review. *Complementary Therapies in Clinical Practice*, v. 43, p. 101329, maio 2021. ISSN 17443881.

KREJTZ, K.; DUCHOWSKI, A. T.; NIEDZIELSKA, A.; BIELE, C.; KREJTZ, I. Eye tracking cognitive load using pupil diameter and microsaccades with fixed gaze. *PLOS ONE*, v. 13, n. 9, p. e0203629, set. 2018. ISSN 1932-6203.

KTISTAKIS, E.; SKARAMAGKAS, V.; MANOUSOS, D.; TACHOS, N. S.; TRIPOLITI, E.; FOTIADIS, D. I.; TSIKNAKIS, M. COLET: A Dataset for Cognitive WorkLoad Estimation Based on Eye-Tracking. *SSRN Electronic Journal*, 2022. ISSN 1556-5068.

KURIYAN, A. B.; PELHAM, W. E.; MOLINA, B. S.; WASCHBUSCH, D. A.; GNAGY, E. M.; SIBLEY, M. H.; BABINSKI, D. E.; WALTHER, C.; CHEONG, J.; YU, J.; AL. et. Young adult educational and vocational outcomes of children diagnosed with adhd. *Journal of Abnormal Child Psychology*, v. 41, n. 1, p. 27–41, Jul 2012.

LEV, A.; BRAW, Y.; ELBAUM, T.; WAGNER, M.; RASSOVSKY, Y. Eye Tracking During a Continuous Performance Test: Utility for Assessing ADHD Patients. *Journal of Attention Disorders*, v. 26, n. 2, p. 245–255, jan. 2022. ISSN 1087-0547, 1557-1246.

MAHANAMA, B.; JAYAWARDANA, Y.; RENGARAJAN, S.; JAYAWARDENA, G.; CHUKOSKIE, L.; SNIDER, J.; JAYARATHNA, S. Eye Movement and Pupil Measures: A Review. *Frontiers in Computer Science*, v. 3, p. 733531, jan. 2022. ISSN 2624-9898.

MALAQUIAS, P. I. d. S.; ALVARENGA, V. F.; COELHO, M. N.; SANTANNA, A.; MIRANDA, C.; DELABRIDA, S. Proposal for a tool for the applicability of vr and bci in an interdisciplinary study to infer attention in individuals with adhd. In: *Proceedings of the XXIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2024. (IHC '24). ISBN 979-8-4007-1224-1. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3702038.3702075>>.

MALAQUIAS, P. I. S.; SANTANNA, A.; MIRANDA, C.; DELABRIDA, S. Um estudo inicial sobre as contribuições de realidade virtual para avaliação do índice de atenção de pessoas com tdah. In: *Anais da IX Escola Regional de Computação Aplicada à Saúde (ERCAS 2024)*. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação - SBC, 2024. p. 69–72. Disponível em: <<https://sol.sbc.org.br/index.php/ercas/article/view/29702>>.

Meta Platforms, Inc. *Meta Quest 3*. <<https://www.meta.com/quest/quest-3/>>.

Meta Platforms, Inc. *Meta Quest Pro*. <<https://www.meta.com/quest/quest-pro/>>.

MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A.; KISHINO, F. Augmented reality: a class of displays on the reality-virtuality continuum. In: DAS, H. (Ed.). *Telem Manipulator and Telepresence Technologies*. Boston, MA, 1995. v. 2351, p. 282–292. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.197321>>.

MORSE, C. Gaming Engines: Unity, Unreal, and Interactive 3D Spaces. *Technology|Architecture + Design*, v. 5, n. 2, p. 246–249, jul. 2021. ISSN 2475-1448, 2475-143X.

MÄKINEN, H.; HAAVISTO, E.; HAVOLA, S.; KOIVISTO, J.-M. User experiences of virtual reality technologies for healthcare in learning: an integrative review. *Behaviour & Information Technology*, v. 41, n. 1, p. 1–17, jan. 2022. ISSN 0144-929X, 1362-3001. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/0144929X.2020.1788162>>.

N, V.; N, A. A review of non-invasive bci devices. *International Journal of Biomedical Engineering and Technology*, v. 34, n. 3, p. 205, 2020. ISSN 1752-6418, 1752-6426.

NOVÁK, J. Š.; MASNER, J.; BENDA, P.; ŠIMEK, P.; MERUNKA, V. Eye Tracking, Usability, and User Experience: A Systematic Review. *International Journal of Human–Computer Interaction*, v. 40, n. 17, p. 4484–4500, set. 2024. ISSN 1044-7318, 1532-7590.

OLIVEIRA, G. A. D.; TEIXEIRA, E. C. Pesquisa de posição ocular por correspondência de modelos para renderização baseada em fóvea com fpga. In: *Anais do Congresso Brasileiro de Automática 2020*. sbabra, 2020. Disponível em: <https://www.sba.org.br/open_journal_systems/index.php/sba/article/view/1605>.

PAGE, T. F.; PELHAM, W. E.; FABIANO, G. A.; GREINER, A. R.; GNAGY, E. M.; HART, K. C.; COXE, S.; WAXMONSKY, J. G.; FOSTER, E. M.; PELHAM, W. E. Comparative Cost Analysis of Sequential, Adaptive, Behavioral, Pharmacological, and Combined Treatments for Childhood ADHD. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*, v. 45, n. 4, p. 416–427, jul. 2016. ISSN 1537-4416, 1537-4424.

PALVA, S.; PALVA, J. M. New vistas for α -frequency band oscillations. *Trends in Neurosciences*, v. 30, n. 4, p. 150–158, abr. 2007. ISSN 01662236.

RAJPURKAR, P.; CHEN, E.; BANERJEE, O.; TOPOL, E. J. AI in health and medicine. *Nature Medicine*, v. 28, n. 1, p. 31–38, jan. 2022. ISSN 1078-8956, 1546-170X.

REZENDE, E. de. *A História Completa Do TDAH Que Você Não Conhecia*. PsicoEdu, 2016. <https://www.psicoedu.com.br/2016/11/historia-origem-do-tdah.html>. Disponível em: <https://www.psicoedu.com.br/2016/11/historia-origem-do-tdah.html>.

RIZZO, A.; BUCKWALTER, J.; BOWERLY, T.; ZAAG, C. V. D.; HUMPHREY, L.; NEUMANN, U.; CHUA, C.; KYRIAKAKIS, C.; ROOYEN, A. V.; SISEMORE, D. The virtual classroom: A virtual reality environment for the assessment and rehabilitation of attention deficits. *CyberPsychology & Behavior*, v. 3, n. 3, p. 483–499, jun. 2000. ISSN 1094-9313, 1557-8364.

ROSSI, H. S. *Imaginator: um sistema de realidade virtual para o auxílio no tratamento de transtornos de processamento sensorial*. Tese (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Set 2017.

SALVUCCI, D. D.; GOLDBERG, J. H. Identifying fixations and saccades in eye-tracking protocols. In: *Proceedings of the Symposium on Eye Tracking Research & Applications - ETRA '00*. Palm Beach Gardens, Florida, United States: ACM Press, 2000. p. 71–78. ISBN 978-1-58113-280-9.

SILVA, G. A. D.; RIBEIRO, M. W. D. S. Development of Non-Player Character with Believable Behavior: A systematic literature review. In: *Anais Estendidos Do XX Simpósio Brasileiro de Games e Entretenimento Digital (SBGames Estendido 2021)*. Brasil: Sociedade Brasileira de Computação, 2021. p. 319–323.

SKARBEZ, R.; SMITH, M.; WHITTON, M. C. Revisiting Milgram and Kishino's Reality-Virtuality Continuum. *Frontiers in Virtual Reality*, v. 2, p. 647997, mar. 2021. ISSN 2673-4192. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frvir.2021.647997/full>.

Sony Interactive Entertainment. *PlayStation VR2*. <https://www.playstation.com/en-us/ps-vr2/>.

SOUZA, G. C. d.; GUEDES, J. P. d. M. The indiscriminate use of ritalin to improve academic performance. *Research, Society and Development*, v. 10, n. 15, p. e354101523004, Nov. 2021. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/23004>.

STOKES, J. D.; RIZZO, A.; GENG, J. J.; SCHWEITZER, J. B. Measuring Attentional Distraction in Children With ADHD Using Virtual Reality Technology With Eye-Tracking. *Frontiers in Virtual Reality*, v. 3, p. 855895, mar. 2022. ISSN 2673-4192.

SUTHERLAND, I. E. A head-mounted three dimensional display. In: *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I on - AFIPS '68 (Fall, part I)*. San Francisco, California: ACM Press, 1968. p. 757. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1476589.1476686>.

SUTHERLAND, I. E. et al. The ultimate display. In: *Proceedings of the IFIP Congress*. [S.l.]: New York, 1965. v. 2, n. 506–508, p. 506–508.

Valve Corporation. *Valve Index*. <<https://store.steampowered.com/valveindex>>.

VIALATTE, F. B.; BAKARDJIAN, H.; PRASAD, R.; CICHOCKI, A. EEG paroxysmal gamma waves during Bhramari Pranayama: A yoga breathing technique. *Consciousness and Cognition*, v. 18, n. 4, p. 977–988, dez. 2009. ISSN 10538100.

Virtuix Inc. *Omni One*. <<https://virtuix.com/omni-one>>.

YADAV, D.; YADAV, S.; VEER, K. A comprehensive assessment of brain computer interfaces: Recent trends and challenges. *Journal of Neuroscience Methods*, v. 346, p. 108918, 2020. ISSN 0165-0270. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165027020303411>>.

YEH, S.-C.; TSAI, C.-F.; FAN, Y.-C.; LIU, P.-C.; RIZZO, A. An innovative adhd assessment system using virtual reality. In: *2012 IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences*. Langkawi, Malaysia: IEEE, 2012. p. 78–83. ISBN 978-1-4673-1666-8. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6498026/>>.

ZHANG, K.; ASLAN, A. B. AI technologies for education: Recent research & future directions. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, v. 2, p. 100025, 2021. ISSN 2666920X.

Apêndices

APÊNDICE A – Código de Geração de Dados Sintéticos de Eye Tracking

O código abaixo foi utilizado para gerar os dados sintéticos descritos na Seção 3.1. Ele permite simular o comportamento de indivíduos com e sem TDAH, diferenciando-os principalmente pelo tempo de fixação em objetos virtuais.

Listing A.1 – Função de geração de dados sintéticos de Eye Tracking

```
1
2 import random
3 from typing import List, Tuple
4
5 def gerar_dados_eye_tracking(n: int, tem_tdah: bool) ->
6     List[Tuple[float, float, float, float]]:
7     """
8     Gera dados sintéticos de Eye Tracking em um espaço
9     tridimensional, simulando o comportamento
10    visual de indivíduos com ou sem TDAH.
11
12    Args:
13    n (int): Quantidade de pontos de atenção a serem
14    gerados.
15    tem_tdah (bool): Define o perfil simulado.
16    – True: simula usuário com TDAH (fixações mais
17    curtas).
18    – False: simula usuário sem TDAH (fixações mais
19    longas).
20
21    Returns:
22    List[Tuple[float, float, float, float]]:
23    Lista de pontos de atenção gerados, no formato:
24    (x_coord, y_coord, z_coord, fixation_duration).
25
26    Exemplo:
27    >>> dados = gerar_dados_eye_tracking(10, tem_tdah=True)
28    >>> print(dados[0])
29    (-1.23, 0.87, 3.45, 0.32) # (x, y, z, duração da
```

```

25         fixacao em segundos)
26     """
27     dados = []
28
29     # Definicao dos intervalos de duracao de fixacao
30     if tem_tdah:
31         # Perfil TDAH: fixacoes curtas (dificuldade em manter
32         o foco)
33         min_fix , max_fix = 0.1 , 0.5
34     else:
35         # Perfil nao TDAH: fixacoes longas (maior estabilidade
36         de atencao)
37         min_fix , max_fix = 1.0 , 5.0
38
39     for _ in range(n):
40         # Coordenadas do ponto de atencao no espaco 3D
41         x_coord = random.uniform(-5, 5)
42         y_coord = random.uniform(-2.5, 2.5)
43         z_coord = random.uniform(-4, 4)
44
45         # Duracao da fixacao em segundos
46         fixation_duration = random.uniform(min_fix , max_fix)
47
48         # Registro no formato (x, y, z, duracao)
49         dados.append((x_coord , y_coord , z_coord ,
50             fixation_duration))
51
52     return dados

```

Declaração

Declaro que a presente Monografia utilizou ferramentas de Inteligência Artificial durante o seu desenvolvimento.

As ferramentas empregadas foram: *ChatGPT*, *Gemini* e *LanguageTool*, com o propósito exclusivo de **revisão linguística**, abrangendo verificações ortográficas e gramaticais.

A utilização de ferramentas de inteligência artificial limitou-se estritamente aos propósitos acima mencionados. A supervisão, validação e autoria intelectual do manuscrito são de inteira responsabilidade do autor desta Monografia.

Adicionalmente, atesto a completude e veracidade das informações acima. Caso seja identificada qualquer inconsistência ou uso inadequado, concordo que o manuscrito seja submetido a investigação e, se necessário, rejeitado ou retratado.